ISSN 1992-5980




# ВЕСТНИК

## ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА




Том 11
№ 10 (61)
2011

# ВЕСТНИК
## ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
**2011**

**Т. 11 № 10 (61)**

**Теоретический и научно-практический журнал**

**Рекомендован ВАК для публикаций основных научных результатов диссертаций на соискание учёных степеней доктора и кандидата наук (решение Президиума ВАК Минобрнауки России от 19 февраля 2010 года № 6/6)**

Издаётся с 1999 г.

Декабрь 2011 г.

***Учредитель* — Донской государственный технический университет**





Подписано в печать 29.12.2011.
Формат 60×84/8. Гарнитура «Tahoma». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 24,3. Тираж 1000 экз. Заказ № 668. Цена свободная.
***Адрес редакции:***
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-565.
***Адрес издательского центра:***
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. (863) 2-738-741, 2-738-322.
*http://science.donstu.ru*
***Регистрационное свидетельство ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.***

# СОДЕРЖАНИЕ

# VESTNIK of DON STATE TECHNICAL UNIVERSITY 2011

**V. 11 № 10 (61)**

**Theoretical and scientific-practical journal**

**Recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles for publications of the thesis research results for Doctor's and Candidate Degree (the solution of the Presidium of the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Russian Education and Science Ministry, February 19, 2010, № 6/6)**

Founded in 1999

December 2011

***Founder* — Don State Technical University**



***The issue is prepared by:*** I. N. Boyko, E. I. Golovko, M. A. Fedenko, M. P. Smirnova (English version)
Passed for printing 29.12.2011.
Format 60×84/8. Font «Tahoma». Offset printing.
C.p.sh. 24,3. Circulation 1000 cop. Order 668. Free price.

***Editorial Board's address:***
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: (863) 273-85-65

***Publishing Centre's address:***
Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia. Phone: (863) 273-87-41, 273-83-22
*http://science.donstu.ru*

***Registration certificate ПИ № ФС 77-35012 от 16.01.09.***

# CONTENT

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.414

# Пороговое разделение файлов на основе битовых масок: идея и возможное применение

**Н. С. Могилевская**
(Донской государственный технический университет),
**Р. В. Кульбикаян**
(Ростовский государственный университет путей сообщения),
**Л. А. Журавлёв**
(Донской государственный технический университет)

*Предлагается новый метод порогового разделения файла любого формата на n частей таким образом, чтобы для его корректного восстановления было необходимо собрать не менее k(<n) частей. Предложенный метод может быть использован для децентрализованного хранения файлов, для передачи файлов по многоканальным сетям, а также для защиты от несанкционированного доступа к информации, содержащейся в файле.*

***Ключевые слова:*** *пороговое разделение секрета, метод битовых масок, безопасность файлов, децентрализованное хранение файлов, передача файла по многоканальной системе связи.*

**Введение**. Идея данной работы родилась на стыке трёх задач, для решения которых в том или ином виде используется разделение данных на части для повышения уровня их сохранности. Так, первая задача состоит в предохранении секретной информации (ключей) от потери, разделении ответственности за принятие решения и предотвращении атак, связанных с человеческим фактором, таких, как подкуп, шантаж, захват людей, имеющих отношение к секретной информации. Решается эта задача с помощью пороговых схем разделения секрета, разработанных в теории криптографических протоколов. ($k$, $n$)-пороговым протоколом разделения секрета называют распределённый алгоритм, в котором некоторый числовой секрет $N$ разделяется на $n$ частей-долей и распределяется между участниками таким образом, чтобы любые $k$ участников, собравшись вместе, могли восстановить секрет $N$, а любые ($k$ − 1) участников ничего не могли узнать о секрете [1, 2, 3]. На сегодняшний день существует большое количество схем разделения секрета, например [1, 3]. Наиболее известной, пожалуй, является ($k$, $n$)-пороговая схема Ади Шамира, в основе которой лежит известный алгебраический факт, что для восстановления всех коэффициентов полинома $f(x)$ степени $k - 1$ необходимо знать значение $f(x)$ в $k$ различных точках. Согласно схеме Шамира, используются полиномиальные уравнения в конечном поле $F_p$, где $p$ — простое число, больше количества возможных долей $n$ и больше любого возможного секрета [3]. К подготовительной части этой схемы относится генерация полинома $f(x)$ степени $k - 1$ со случайными коэффициентами из $F_p$, такого, что значение секрета равно $f(0)$. Долей секрета участника $j$ ($j = 1, \ldots, n$) схемы является пара вида ($x_j$, $f(x_j)$), где $x_j = 1, \ldots, p - 1$. Для восстановления секрета $f(0)$, согласно ($k$, $n$)-пороговой схеме Шамира, используется интерполяционная формула Лагранжа. Ещё одна популярная схема предложена Джорджем Блэкли [3], в которой секретом является одна из координат точки $Q$ в $k$-мерном пространстве, а долями секрета являются уравнения плоскостей, пересекающихся в $Q$. Для восстановления секрета не-

обходимо решить систему, состоящую из *k* уравнений плоскостей, которые являются легальными долями секрета.

Вторая задача, в которой используется разделение исходного файла на части, подробно описана в работе [4], где предложена схема организации децентрализованного отказоустойчивого хранилища данных. Точнее, на основании представления исходного файла как множества векторов из элементов полей Галуа предложен метод разделения файла на *n* частей таким образом, что по любым $k < n$ из них можно восстановить исходный файл. Различные части исходного файла предлагается хранить на различных серверах таким образом, чтобы в любой момент можно было получить исходный файл, даже в случае отказа какого-либо из серверов.

В третьей задаче авторами [5] предлагается вносить в данные изменения, которые их «портят», лишая смысла. А именно: в исходный файл предлагается внести «ущерб», точнее, уменьшить длины кодов букв за пределами их информационной неизбыточности, т. е. внести изменения, искажающие смысл исходного сообщения. Так, например, битовым последовательностям фиксированной длины ставятся в соответствие последовательности, возможно, меньшей и непостоянной длины. Таким образом, исходный файл разделяется на три неравнозначных доли: ущербный файл, «ущерб» и таблица замен. Для восстановления исходного файла необходимы все три части. Новые доли предполагается передавать между участниками информационной системы по разным каналам связи, что уменьшает вероятность одновременного перехвата злоумышленником всех трёх частей, следовательно, уменьшает и вероятность несанкционированного доступа к данным, содержащимся в исходном файле.

Очевидно, что было бы полезным иметь общий механизм разделения исходных данных на части, который может быть применён для решения всех трёх типов указанных задач. Такой механизм разработан авторами данной статьи и назван алгоритмом битовых масок.

Далее будет описана идея предлагаемого метода, алгоритм построения битовых масок, возможные области его применения и приведён пример протокола разделения файла с использованием предложенного метода.

**Основная идея предлагаемого метода порогового разделения файлов.** Кратко идея предлагаемого метода состоит в том, что исходный файл, назовём его секретом, разделяется на *n* долей таким образом, чтобы для восстановления секрета было необходимо объединить не менее *k* долей, где $k < n$.

Рассмотрим исходный файл как последовательность битовых отрезков $\{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, \ldots\}$ некоторой фиксированной длины *S*, назовём эти отрезки сегментами. В зависимости от исходного файла и параметров системы в качестве сегмента может быть принят, например, 1 бит или 1 байт, или группа байтов, группа пикселов графического файла или несколько отсчётов аудиофайла, т. е. любой объём данных, удобный для обработки. Для формирования каждой доли генерируется уникальная битовая маска $m_i$, $i = 1, \ldots, n$, которая циклически применяется к секрету таким образом, что каждому сегменту секрета соответствует один бит маски. Если текущий бит маски нулевой, то соответствующий сегмент секрета отбрасывается, а если бит маски единичный, то соответствующий сегмент записывается в долю. Графически описанная идея представлена на рис. 1. Фактически применяется логическая операция И, аргументами которой являются бит маски и сегмент секрета, таким образом, долей секрета является новый файл, частично содержащий исходный. Очевидно, что размер построенной доли меньше размера исходного файла. Для оценки размера доли *D* необходимо знать размер исходного файла *N*, используемый размер сегмента *S* и число нулей α и единиц β в маске.

$$\left\lfloor \frac{N}{S \cdot (\alpha + \beta)} \right\rfloor \cdot \beta \cdot S \le D \le \left\lceil \frac{N}{S \cdot (\alpha + \beta)} \right\rceil \cdot \beta \cdot S \qquad (1)$$

где $\lfloor \ \rfloor$, $\lceil \ \rceil$ используются для обозначения операции округления до ближайшего меньшего и ближайшего большего соответственно, а $\alpha + \beta = C_n^{k-1}$.

| Секрет | $j_1$ | $j_2$ | $j_3$ | $j_4$ | $j_5$ | $j_6$ | $j_7$ | $j_8$ | $j_9$ | $j_{10}$ | $j_{11}$ | $j_{12}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Маска | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Доля | $j_1$ | | $j_3$ | $j_4$ | | | | $j_8$ | $j_9$ | | $j_{11}$ | $j_{12}$ |

Рис. 1. Визуализация генерации доли секрета путём наложения битовой маски на исходный файл. Маска 10110001 применяется циклически

Количество нулей и единиц в маске определяется следующими соображениями. Очевидно, для того чтобы реализовать пороговое восстановление секрета, необходимо, чтобы маски $k$ различных долей при применении к ним побитового логического ИЛИ давали в результате вектор, содержащий только единицы. Рассмотрим пример масок для случая $n = 4$, $k = 3$.

Маска 1: 0 0 0 1 1 1
Маска 2: 0 1 1 0 0 1
Маска 3: 1 0 1 0 1 0
Маска 4: 1 1 0 1 0 0

Легко проверить, что, применяя логическое ИЛИ к трём или более любым маскам, получаем в результате вектор, состоящий из одних только единиц. Длина масок определяется значением $C_n^{k-1}$, число нулей и единиц у всех масок постоянное.

**Алгоритм генерации масок.** Представим алгоритм генерации масок для заданного числа участников $n$ и порогового значения $k$.

*Шаг 1*. Составим матрицу, строками которой будут все возможные векторы длины $n$, содержащие $(k - 1)$ нулевой элемент и $(n - k + 1)$ единичных элементов.

*Шаг 2*. Транспонируем полученную матрицу, очевидно, что её размеры будут $n \times C_n^{k-1}$. Каждая строка этой матрицы будет представлять отдельную маску для каждой из $n$ долей.

На рис. 2 представлен пример работы алгоритма генерации масок для параметров $n = 5$, $k = 3$. Очевидно, что предложенному алгоритму свойственна масштабируемость, т. е. при необходимости можно увеличить число участников реализуемой системы порогового разделения файла. Так, если известно, что число участников разделения файла может быть увеличено, то при формировании долей можно выбрать число $n$ заведомо большее, чем необходимо в момент формирования долей, тогда в будущем можно будет увеличивать число участников, раздавая им доли, сгенерированные с ещё не использованными масками.

| | *Шаг 1* | *Шаг 2* |
|---|---|---|
| $C_n^{k-1} = \dfrac{n!}{(k-1)!(n-k-1)!}$<br>$C_5^2 = \dfrac{5!}{2!\cdot 3!} = 10$ | 1) 1 0 0 0 1<br>2) 1 0 0 1 0<br>3) 1 0 1 0 0<br>4) 1 1 0 0 0<br>5) 0 1 1 0 0<br>6) 0 1 0 1 0<br>7) 0 1 0 0 1<br>8) 0 0 1 1 0<br>9) 0 0 1 0 1<br>10) 0 0 0 1 1 | Маска 1: 1111000000<br>Маска 2: 0001111000<br>Маска 3: 0010100110<br>Маска 4: 0100010101<br>Маска 5: 1000001011 |

Рис. 2. Пример работы алгоритма генерации масок для параметров $n = 5$, $k = 3$

По примеру, приведённому на рис. 1, и (1) видно, что размер каждой доли будет меньше размера исходного файла, однако размер $k$ долей будет превышать размер секрета. Этот факт не является недостатком, такая же ситуация справедлива и для протоколов разделения секрета, и для теории ущербных текстов. Разница между размером доли и размером секрета варьируется в достаточно широком диапазоне, в зависимости от используемых параметров. Пример связи между размером доли и размером файла-секрета можно оценить по следующей таблице, построенной аналитически, для общего числа участников разделения файла $n = 4$ и $n = 6$.

**Оценка уменьшения размера доли по сравнению с размером секрета**

| Пороговое значение $k$ | Длина маски $\alpha + \beta$ | Число нулей в маске $\alpha$ | Разница в размере доли и секрета, % |
|---|---|---|---|
| $n = 4$ | | | |
| 2 | 4 | 1 | 25 |
| 3 | 6 | 2 | 50 |
| 4 | 4 | 3 | 75 |
| $n = 6$ | | | |
| 2 | 6 | 1 | 15 |
| 3 | 15 | 5 | 34 |
| 4 | 20 | 10 | 50 |
| 5 | 15 | 10 | 67 |
| 6 | 6 | 5 | 83 |

**Возможные приложения.** Рассмотрим несколько различных вариантов применения предложенного метода.

1. Предложенный метод порогового разделения файлов может быть использован как вариант RAID-технологий как для локального, так и для распределённого хранения и восстановления данных. Напомним, что аббревиатура RAID расшифровывается как Redundant Array of Independent Disks — «отказоустойчивый массив из независимых дисков» и представляет собой концепцию структуры, состоящей из нескольких дисков, объединённых в группу, и обеспечивающей отказоустойчивость. В такой системе каждый файл предлагается хранить в виде некоторого набора частей, количество которых может меняться во времени. Всегда в любой момент времени для существующих в системе $n$ частей выполняется условие, что из любых $k$ кусков можно полностью собрать файл.

Хранение данных можно организовать таким образом: $n$ долей файла распределить по $n$ серверам либо поместить на один сервер $k$ долей — так, чтобы всё необходимое для восстановления файла можно было получить с одного сервера, а на остальные $k$ серверов разместить доли только для осуществления сборки в случае недоступности первого сервера. Кроме этого, при распределении долей можно учитывать загруженность серверов, например, размещать больше долей файла на серверы с меньшей загрузкой.

2. Предложенный метод разделения файлов может быть использован для передачи файлов по многоканальным системам связи с целью повышения скорости передачи. В этом случае данный метод необходимо либо снабдить помехоустойчивой защитой, либо передавать более $k$ долей, чтобы приёмник не только получал файлы быстро, но так же быстро и безошибочно мог восстановить исходный файл.

3. В случае разделения файла из-за соображений безопасности между группой участников или между различными линиями связи желательно снабдить данный метод надёжным алгоритмом шифрования и решить вопрос о безопасном распределении ключей шифрования и долей между участниками информационной системы.

Какое бы применение предложенного метода ни было бы выбрано, очевидно, что необходимо хранить не только долю секрета, но и маску, а также и некоторые другие параметры

протокола порогового разделения файлов. Рассмотрим один из примеров применения предложенного метода.

**Пример применения алгоритма разделения файла на основе метода битовых масок для защиты от несанкционированного доступа.** Очевидно, что перед началом работы протокола все участники должны знать последовательность шагов протокола и быть готовыми ему следовать, также должен быть определён используемый алгоритм шифрования.

*Этап разделения секрета. Подготовительные шаги.*

Шаг 1. Зафиксируем параметры схемы разделения секрета: $n$ — максимально возможное количество участников системы, $k$ — пороговое значение, $E$ — используемый криптографический алгоритм. Сконструируем заголовок для каждой из долей секрета по следующей схеме: первое поле — размер сегмента $S$, второе поле — размер секрета $N$.

Шаг 2. Сгенерируем $n$ битовых масок по предложенному выше алгоритму с параметрами $n$ и $k$.

*Этап разделения секрета. Основная часть.*

Для каждой $i$-й доли выполнять шаги 3—7.

Шаг 3. Обработаем заголовок маской побитовой логической операцией И: если в маске ноль, то бит заголовка тоже ноль, иначе оставляем бит данных.

Шаг 4. Циклически применим маску к секрету, используем логическое И для каждого бита маски и соответствующего сегмента секрета.

Шаг 5. Конкатенируем заголовок из шага 3 и обработанный маской секрет из шага 4. Получим файл $f_i$.

Шаг 6. Зашифруем файл $f_i$ алгоритмом $E$ и секретным ключом $K_i$ $i$-го пользователя. Заметим, что в качестве шифрования можно выбрать любой известный стойкий алгоритм шифрования, использовать модульное умножение, перестановку бит или любой другой подходящий способ.

Шаг 7. Сформируем долю секрета как пару ($m_i$, $E_K$ ($f_i$)), где $m_i$ — маска $i$-го участника, $E_K$ ($f_i$) — зашифрованный файл, содержащий долю, полученную из секрета.

*Этап восстановления секрета.*

Шаг 1. Соберём $k$ различных долей секрета ($m_i$, $E_K$ ($f_i$)). Далее владелец каждой доли снимает шифрование со своей доли, получаем {($m_{i2}$, $f_{i1}$), ($m_{i2}$, $f_{i2}$), …, ($m_{ik}$, $f_{ik}$)}.

Шаг 2. Для каждой доли отделим заголовок и секретную часть. Получим последовательность заголовков {$header_{j1}$, $header_{j2}$, …, $header_{jk}$} и последовательность долей {$Share_{j1}$, $Share_{j2}$, …, $Share_{jk}$}.

Шаг 3. Применим операцию побитового логического ИЛИ ко всем заголовкам. В результате получим заголовок, из которого восстанавливаем размер сегмента $S$ и длину файла-секрета $N$.

Шаг 4. Восстанавливаем исходный файл-секрет следующим образом. Используем долю ($m_{j1}$, $f_{j1}$) и сформируем шаблон $F'$ файла-секрета. Для этого циклически используем маску $m_{j1}$ и для каждого её единичного элемента записываем в шаблон соответствующий сегмент из $f_{j1}$, а для каждого нулевого элемента маски записываем в шаблон сегмент, заполненный нулями, количество сегментов определяется хранящейся в заголовке длиной файла-секрета.

Шаг 5. Оставшиеся ($k$ – 1) доли используем для восстановления файла-секрета следующим образом: циклически используем маску $m_j$ ($j$ = 2, 3, …, $k$) и для каждого её единичного элемента записываем в шаблон $F'$ соответствующий сегмент из $f_j$, а в случае нулевого элемента маски пропускаем в шаблоне соответствующий сегмент. В результате получаем файл $F'$, возможно, совпадающий с оригинальным файлом-секретом.

Шаг 8. Сравниваем длину *F′* и длину файла-секрета *N*. Если эти величины не совпадают, то уменьшаем длину файла *F′*, обрезая «лишнее» с конца. Заметим, что несовпадение длин может появиться в случае, когда размер сегмента не 1 бит и не кратен 1 байту.

*Замечание.* В предложенном примере использования метода побитовых масок доли секрета формировались в виде пары ($m_{j1}$, $f_{j1}$). Несложно видоизменить долю секрета таким образом, чтобы пользователю не пришлось хранить значение маски. А именно: внести в заголовок доли значения *n* и *k*, а в алгоритме генерации масок зафиксировать способ построения строк на шаге 1 таким образом, чтобы в различных случаях запуска этого алгоритма с фиксированными параметрами результирующая матрица получалась постоянной. Тогда доля секрета будет выглядеть как пара (*i*, $f_i$), где *i* — номер доли.

**Выводы.** Предложен метод битовых масок, который может быть использован в задачах разделения файлов для организации децентрализованного отказоустойчивого хранилища данных, для разделения файлов в системах многоканальной связи или для порогового разделения секретной информации между группой пользователей. Приведён пример использования предложенного метода в алгоритме разделения файла для защиты от несанкционированного доступа. Дальнейшие направления данной работы связаны с построением, экспериментальным исследованием и оценкой протоколов применения разработанного метода битовых масок в различных областях.

**Библиографический список**

1. Шнайер, Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си / Б. Шнайер. — Москва: Триумф, 2002. — 816 с.

2. Черёмушкин, А. В. Криптографические протоколы: основные свойства и уязвимости / А. В. Черёмушкин. — Москва: Ин-т криптографии, 2009. — 272 с.

3. Могилевская, Н. С. Методы порогового разделения секрета. Схема Блэкли. Схема Шамира. Метод. указания по курсу «Криптографические протоколы» / Н. С. Могилевская. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2011. — 12 с.

4. Тормасов, А. Г. Математическое моделирование средств управления ресурсами и данными в распределённых и виртуализованных средах: автореф. … д-ра физ.-мат. наук: 05.13.18 / А. Г. Тормасов. — Москва, 2008. — 38 с.

5. Мищенко, В. А. Ущербные тексты и многоканальная криптография / В. А. Мищенко, Ю. В. Виланский. — Минск: Энциклопедикс, 2007. — 292 с.

Материал поступил в редакцию 02.12.2011.

**References**

1. Shnajer, B. Prikladnaya kriptografiya. Protokoly`, algoritmy`, isxodny`e teksty` na yazy`ke Si / B. Shnajer. — Moskva: Triumf, 2002. — 816 s. — In Russian.

2. Cheryomushkin, A. V. Kriptograficheskie protokoly`: osnovny`e svojstva i uyazvimosti / A. V. Cheryomushkin. — Moskva: In-t kriptografii, 2009. — 272 s. — In Russian.

3. Mogilevskaya, N. S. Metody` porogovogo razdeleniya sekreta. Sxema Ble`kli. Sxema Shamira. Metod. ukazaniya po kursu «Kriptograficheskie protokoly`» / N. S. Mogilevskaya. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2011. — 12 s. — In Russian.

4. Tormasov, A. G. Matematicheskoe modelirovanie sredstv upravleniya resursami i danny`mi v raspredelyonny`x i virtualizovanny`x sredax: avtoref. … d-ra fiz.-mat. nauk: 05.13.18 / A. G. Tormasov. — Moskva, 2008. — 38 s. — In Russian.

5. Mishhenko, V. A. Ushherbny`e teksty` i mnogokanal`naya kriptografiya / V. A. Mishhenko, Yu. V. Vilanskij. — Minsk: E`nciklopediks, 2007. — 292 s. — In Russian.

# THRESHOLD FILE SHARING BASED ON BIT MASKS: CONCEPT AND POSSIBLE USE

**N. S. Mogilevskaya**
(Don State Technical University),
**R. V. Kulbikayan**
(Rostov State Transport University),
**L. A. Zhuravlev**
(Don State Technical University)

*A new method of the threshold sharing of any format file on $n$ parts in such a way that it would be necessary to collect at least $k(<n)$ parts for its correct recovery is offered. The proposed method can be used for decentralized filing, file transfer through the multichannel networks, and for unauthorized access protection of the information contained in the file.*
***Keywords:*** *threshold secret sharing, bit mask method, file security, decentralized filing, file transfer through multichannel networks.*

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.179

## Критерии качества ультразвукового контроля сварных соединений

**А. С. Коробцов, Д. В. Рогозин**
(Донской государственный технический университет)

*Рассмотрены области корректного использования показателей и критериев качества ультразвукового контроля сварочной продукции. Предложен интегральный показатель качества системы контроля.*
***Ключевые слова:*** *сварные соединения, ультразвуковой контроль, качество.*

**Введение.** Ультразвуковой контроль является главным источником информации о реальном состоянии сварных объектов ответственного назначения (резервуары, ядерные реакторы, магистральные нефтепроводы и газопроводы, котлы теплостанций, корпуса химических и биологических объектов, судов) [1]. Большинство данных объектов в настоящее время выработало плановый ресурс на 50—70 %. Поэтому проблема качества результатов контроля напрямую связана с проблемой техногенной безопасности [2].

Достоверность ультразвукового контроля и надёжность сварных конструкций предопределяются вопросами валидации, оптимизации систем контроля, аттестации операторов на основе объективных количественных критериев. Однако удовлетворительного количественного критерия оценки достоверности ультразвукового контроля в России до сих пор нет, а отсутствие унифицированных показателей, критериев, методики и инструментальных средств оценки результатов контроля существенно осложняет проблему. Более того, из-за многообразия используемых на практике показателей и критериев наблюдается субъективная интерпретация понятий и показателей качества, их подмена, не учитываются имеющиеся ограничения на корректное использование ряда критериев.

**Критерии качества ультразвукового контроля.** Сложность проблемы количественной оценки результатов контроля, многообразие объективных и субъективных факторов, влияющих на погрешности дефектоскопии, обусловили использование различных показателей и критериев качества контроля.

Наиболее часто употребляются следующие термины, с помощью которых характеризуют результаты работы как оператора ультразвукового контроля, так и системы контроля в целом: точность, достоверность, надёжность, информативность и эффективность.

Нередко данные показатели употребляют весьма субъективно с качественных позиций на основе лишь информации о количестве выявленных дефектов, о погрешностях измерения параметров и координат дефектов, ошибок, допущенных операторами на различных этапах процесса контроля. При этом часто не оговариваются ни глубина залегания, ни размеры, ни ориентация выявленных дефектов.

При количественных оценках результатов контроля с целью сравнительного анализа различных систем или аттестации операторов находят применение следующие: вероятность выявления дефектов при заданной эквивалентной площади [3], матрица достоверности [4], оперативная и оперативная относительная характеристики выявляемости дефектов [5], оперативная характеристика системы контроля (зависимость вероятности принятия альтернативных решений от параметров сигналов и дефектов) [6], информативность (в энтропийном представлении) [7].

**Точность.** Термин «точность» часто используется при анализе информации о погрешностях дефектоскопии. Данный показатель отражает результаты контроля, так как точность — свойство, характеризующее близость результатов испытаний к действительным значениям характеристик объектов (ГОСТ 16504-81), а погрешность — отклонение действительного значения параметра от его номинального значения (ГОСТ 15895-77).

Целевое функциональное назначение системы ультразвукового контроля — поиск, восприятие информации о реальной дефектности объекта контроля, её анализ и принятие решения о

недопустимости обнаруженных дефектов. Поэтому возможными основными погрешностями ультразвукового контроля являются следующие: а) пропуск (необнаружение) недопустимых дефектов, б) неправильная идентификация типа дефекта, в) неточная оценка параметров и, соответственно, допустимости дефекта, г) неправильное определение координат залегания дефекта.

Данные погрешности дефектоскопии напрямую влияют на показатели качества систем контроля, однако количественная оценка суммарных погрешностей с целью сравнительного анализа разных систем контроля связана с большими трудностями, так как степень значимости отдельных погрешностей различная.

Следует акцентировать внимание, что сравнительный анализ систем контроля по показателю «точность» корректен лишь для идентичных условий контроля, так как на погрешности ультразвукового контроля влияет большое количество факторов: конструктивно-технологические особенности изделия, особенности дефекта, аппаратурные факторы, технология контроля, среда, оператор.

**Достоверность.** Данный показатель постоянно применяется при обсуждении результатов ультразвукового контроля и имеет довольно субъективную интерпретацию. О достоверности контроля чаще говорят с качественных позиций (выше — ниже, лучше — хуже), на основе сравнения таких данных, как вероятность обнаружения дефектов, погрешности дефектоскопии, ошибки операторов.

Под достоверностью контроля подразумевают также способность используемой методики обнаруживать и оценивать недопустимые дефекты в соответствии с действительным состоянием объекта. При этом за критерий достоверности принимается оперативная характеристика выявляемости дефектов — вероятность правильного обнаружения дефектов с минимальным недопустимым характеристическим размером.

При оценке достоверности результатов контроля для учёта ошибок первого рода (недобраковка) и второго рода (перебраковка) было предложено [4] использовать матрицу достоверности.

По своему физическому смыслу показатель «достоверность» должен характеризовать неточности выполнения возложенных на систему контроля функций. Поэтому его корректней трактовать не как способность методики контроля, а как показатель конкретного результата контроля, так как результаты дефектоскопии одного и того же объекта одной и той же системой могут существенно отличаться.

Учитывая, что целевое назначение ультразвукового контроля — оценивание дефектной ситуации в объекте контроля, количественная оценка достоверности контроля в общем виде должна учитывать как результативность выявляемости дефектов, так и точность идентификации величины и координат дефектов. Поэтому, если рассматривать достоверность *Д* как показатель, характеризующий суммарные относительные погрешности $\Delta_i$ оценивания реальной дефектности в объекте контроля, то можно записать:

$$Д = 1 - \sum_{i=1}^{n} \Delta_i \, . \qquad (1)$$

То есть чем меньше погрешности оценивания реальной дефектной ситуации в объекте контроля, тем выше достоверность системы контроля.

Если рассматривать качество контроля только с позиции обнаружения-необнаружения недопустимых дефектов, то, по-видимому, количественная оценка достоверности может быть произведена по следующей формуле:

$$Д = 1 - P_{нев}, \qquad (2)$$

где $P_{нев}$ — вероятность невыявления недопустимых дефектов.

При данной трактовке достоверность в ряде случаев может быть практически применена при сравнительном анализе систем контроля. Однако при таком подходе не учитываются факты выявления-невыявления допустимых дефектов, которые также несут дополнительную информацию о возможностях сравниваемых систем контроля, не учитываются факты и последствия перебраковки и недобраковки, а также погрешности измерения координат дефектов.

**Информативность.** Критерий «информативность» как показатель качества ультразвукового контроля является наиболее вольно трактуемым, отмечается подмена понятий. Путаность возникает из-за того, что отождествляются разные, но созвучные понятия: «количество информации», являющееся количественным критерием информативности измерения при энтропийном подходе, и «точность информации» о реальной дефектности. В ГОСТ по контролю качества продукции ин-

формативность как показатель отсутствует, а на практике применяется чаще с качественных позиций при оценке точности полученной информации по принципу: точнее результаты дефектоскопии — выше информативность. Хотя об информативности контроля реального изделия некорректно говорить, если мы не знаем конкретной информации о его истинной дефектности.

Использование данного показателя для количественной оценки результатов контроля было вызвано стремлением найти комплексный критерий качества контроля, который учитывал бы в целом погрешности и обнаружения, и измерения дефектов. Такой подход к проблеме рассмотрен в работе [7], в которой для количественной оценки результатов дефектоскопического измерения критерий «информативность» предлагается использовать на основе энтропийного определения количества информации по К. Э. Шеннону. Авторами предлагается использовать информативность как единый параметр дефектометрического измерения, учитывающий операции поиска и оценки дефектов и определяемый по сумме энтропии обнаружения дефектов и энтропии по оценке их параметров (типа, размеров, координат). Тогда, по их мнению, можно сравнивать системы с разными возможностями в части обнаружения и оценки дефектов.

Практическое использование данного показателя сталкивается с существенными трудностями, заключающимися в необходимости предварительного сбора большой статистической информации, без которой невозможна количественная оценка информативности. Это связано с тем, что, по Шеннону, всем понятиям даётся вероятностный смысл, а итог измерения истолковывается как сокращение области неопределённости измеряемой величины.

Данный показатель взят из теоретических основ кибернетики в виде теории информации, направленной на получение количественной оценки точности передачи и преобразования информации в измерительных устройствах [8]. К. Э. Шеннон на основе теоретико-вероятностного подхода ввёл понятие «количество информации» [9], которая вычисляется по энтропии $H(x)$, характеризующей меру неопределённости измеряемой величины $x$. То есть энтропия по Шеннону это — характеристика закона распределения вероятностей погрешности измерения как случайной величины и рассматривается как некоторая весовая функция всех точек кривой закона распределения.

В соответствии с десятой теоремой Шеннона, если на вход канала передачи информации подаётся сигнал с энтропией $H(x)$, а шум в канале имеет энтропию $H(\Delta)$, то количество информации $I$ на выходе канала

$$I = H(x) - H(\Delta). \quad (3)$$

На основе данной теоремы количество информации (информативность) при ультразвуковом контроле авторы работы [7] предлагают определять как разницу энтропий до контроля и после. Тогда в соответствии с теорией для системы, имеющей $n$ независимых событий, доконтрольную энтропию предлагается вычислять по выражению:

$$H(x) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i , \quad (4)$$

где $p_i$ — вероятность $i$-го события.

Получается, что чем больше мы знаем об объекте контроля, тем меньше неопределённость и меньше энтропия. Ноль соответствует полной определённости.

Послеконтрольная ситуация определяется энтропией закона распределения погрешностей, так называемой условной энтропией $H(\Delta)$ или $H(x / z)$, если о значении измеряемой величины $x$ судят по величине аналога $z$. Вычисляемая по закону распределения вероятностей погрешности вокруг полученного от прибора показания $z$, условная энтропия является сжатой характеристикой дезинформации, мерой неопределённости, остающейся после получения от прибора показания $z$ при данном законе распределения вероятностей различных значений погрешности, возникающих при измерении. Согласно 16-й теореме Шеннона, условная энтропия может быть найдена на основании лишь статистики распределения погрешности $\Delta$ безотносительно к закону распределения самой измеряемой величины $x$.

Тогда разность энтропии $H(x)$ исследуемой системы (измеряемой величины) и условной энтропии $H(x / z)$, принимают за меру количества информации $I = H(x) - H(x / z)$.

По-видимому, применительно к ультразвуковому контролю данный критерий более приемлем для построения шкал глубиномерных устройств дефектоскопов, а не для оценки качества контроля. Использование информативности в энтропийном представлении для количественной оценки результатов контроля тест-образцов с искусственными отражателями представляется во-

обще неправомерным, так как не выполняется условие нормировки, ограничивающее область применения теоретических предпосылок. Следовательно, вычисление энтропии некорректно, а количественный подсчёт информативности не правомерен.

К вопросу о применимости критерия «информативность» к оценке качества контроля необходимо добавить следующее. Информация, с инженерных позиций, — сведения о реальной дефектности объекта контроля. Погрешности её измерения характеризуют достоверность контроля. А в энтропийном подходе мы отталкиваемся при количественных оценках не от реальной дефектности объектов контроля, а от энтропии объекта, то есть от вероятности наличия дефектов в нём.

Спорным, в принципе, остаётся вопрос о правомерности оценки информативности с вероятностных позиций. Так, по мнению А. В. Шилейко, наличие в системе некоторого количества информации — внутреннее свойство системы, поэтому любые выводы, основанные на вероятностных отношениях, нельзя считать информацией, так как информация — физическая величина, то есть допускает измерения.

**Надёжность.** Данный показатель широко применяется на практике для оценки любых систем, в том числе систем «машина — оператор», и рассматривается как комплексное свойство, состоящее в общем случае из безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости. По ГОСТ 27.002-89 надёжность — это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения.

При ультразвуковом контроле понятие надёжность применяется часто в вероятностном аспекте как характеристика объекта контроля, системы контроля и оператора. При этом имеются определённые различия в смысловой трактовке данного понятия, что следует учитывать при практическом использовании термина.

Чтобы не было субъективного трактования данного показателя, под надёжностью объектов контроля в процессе эксплуатации предлагается [10] понимать вероятность невозникновения аварийной ситуации в проконтролированных объектах при регламентированных условиях эксплуатации в заданный период времени.

В качестве показателя надёжности системы контроля принимают вероятность осуществления возложенных на систему функций контроля в заданных условиях.

Надёжность оператора ультразвукового контроля, по мнению А. К. Гурвича, определяется вероятностью точного, безошибочного и своевременного выполнения в течение времени контроля всех порученных ему функций контроля объекта в заданной производственной среде.

Данное определение надёжности представляет собой интерпретацию результатов работы в большей степени с качественных позиций. Для практических целей при сравнительном анализе или аттестации существенную значимость имеет возможность количественной оценки показателя «надёжность».

Следует отметить, что некорректно сравнивать надёжность работы разных операторов, не оговаривая особенности проведения контроля, так как надёжность оператора ультразвукового контроля существенно зависит от многих объективных и субъективных факторов. К объективным факторам относятся аппаратурные (методика контроля, чувствительность) и внешние. Внешние факторы характеризуют физические условия работы (температура, влажность, освещённость, радиоактивность, наличие помех), эргономические факторы условий работы, а также организационные (режим труда и отдыха, отрезок рабочего дня) и эмоциогенные факторы деятельности оператора (степень ответственности, аварийная ситуация). Субъективные факторы надёжности оператора принято называть человеческим фактором. Степень влияния субъективных факторов зависит от характеристик восприятия, внимания, памяти, темперамента, возраста, квалификации, функционального состояния оператора, мотивации и др.

Количественная оценка качества работы оператора по показателю «надёжность» с позиции данного ему определения связана с определёнными трудностями. Сложно провести количественную оценку показателя, если, например, все недопустимые дефекты обнаружены, но имеют место погрешности в определении их координат или факты ошибочной браковки. Очевидно, что при наличии ошибок надёжность как вероятность безошибочной работы снижается. Но как учесть весовую значимость различных допущенных ошибок при сравнительном анализе? Как учесть при оценке качества работы тот факт, что на контроль разными операторами было затрачено разное

время? С позиции надёжности сделать это проблематично. Большое количество факторов надёжности также существенно затрудняет проведение сравнительного анализа.

По-видимому, в некоторых случаях при сравнительном анализе, когда за количественный показатель надёжности контроля принимается вероятность выявления недопустимых дефектов, это может быть правомерным. Однако только при определённых идентичных условиях.

Например, при аттестации специалистов требуется сравнить результаты работы двух операторов, проконтролировавших разные тест-образцы, содержащие однотипные искусственные отражатели. Каждый тест-образец содержит равное количество отражателей одного типоразмера, относящегося к категории недопустимых. Отличаются образцы только характеристическим размером дефектов. В результате контроля на каждом образце выявлено одинаковое количество дефектов. С точки зрения определения надёжности как вероятности безошибочного выполнения функционального назначения (выявление недопустимых дефектов) в течение определённого времени, операторы показали одинаковые результаты. Но означает ли такой результат, что они продемонстрировали работу одинаковой квалификации? Представляется, что нет, так как при таком подходе не учитывается тот факт, что вероятность выявления дефекта существенно зависит от его характеристического размера. Поэтому, по нашему мнению, в таких случаях более объективным критерием качества работы будет показатель, который учитывает вероятность выявления данного типоразмера дефектов данной системой контроля, например коэффициент относительной выявляемости дефектов:

$$K_{отн} = P_{тип} / P_{в}, \quad (5)$$

где $P_{тип}$ — относительное количество выявленных дефектов в образце, $P_{в}$ — вероятность выявления данного типоразмера дефектов данной системой контроля.

Если испытательный тест-образец содержит несколько типоразмеров искусственных отражателей, то за критерий результативности следует принять *интегральный коэффициент относительной выявляемости дефектов*:

$$K^{и}_{отн} = \sum_{i=1}^{n} P^{i}_{тип} / P^{i}_{в}, \quad (6)$$

где $P^{i}_{тип}$ — относительное количество выявленных дефектов типоразмера $i$, $P^{i}_{в}$ — вероятность выявления дефектов типоразмером $i$ данной системой, $n$ — количество типоразмеров искусственных отражателей в образце.

Учитывая, что вероятность выявления крупных и протяжённых дефектов высока, данный количественный показатель результативности работы будет выше в тех случаях, когда вырастает количество выявленных наиболее мелких дефектов.

Следует особо отметить, что о количественной оценке надёжности как показателе качества правомерно вести речь только при анализе результатов контроля объектов, содержащих искусственные дефекты известных формы, размеров и местоположения. При контроле реальных объектов некорректно использование термина «надёжность» до тех пор, пока информация о реальной дефектности остаётся неизвестной. В таких случаях, когда неизвестно общее количество имеющихся дефектов и их истинные размеры, по нашему мнению, для сравнительной оценки результатов контроля можно пользоваться критерием, учитывающим количество выявленных дефектов и их относительную выявляемость:

$$K = \sum_{i=1}^{n} \frac{n_j}{p_j}, \quad (7)$$

где $n_j$ — количество выявленных дефектов типоразмера $j$, $p_j$ — вероятность выявления дефектов типаразмером $j$ для данной технологии контроля в течение заданного времени (или, например, для штатной технологии).

Однако если при контроле тест-образцов имеют место факты перебраковки и недобраковки дефектов, то и интегральный коэффициент относительной выявляемости дефектов $K^{и}_{отн}$ не даёт нам объективной оценки качества проведённого контроля, поэтому требуется использование более комплексных показателей качества.

**Эффективность.** Данный показатель оценки качества как системы, так и оператора ультразвукового контроля позволяет учесть помимо вероятности обнаружения также вероятность «перебраковки» и «недобраковки».

По мнению А. К. Гурвича, основным фундаментальным комплексным показателем качества любой системы контроля является интегральный критерий эффективности, представляющий собой отношение технической эффективности системы (приращение надёжности объекта контроля вследствие устранения обнаруженных дефектов) к суммарным затратам, благодаря которым достигаются поставленные цели. То есть данный показатель характеризует как степень соответствия системы её целевому функциональному назначению, так и экономические показатели.

В инженерной психологии эффективность также рассматривается как комплексный параметр, позволяющий дать обобщённую оценку работе оператора системы «человек — машина». Однако, несмотря на многочисленность исследований, посвящённых деятельности оператора, целостной концепции эффективности его деятельности не существует. Нерешённым можно назвать и вопрос о выборе критериев эффективности, поскольку существующие критерии не обеспечивают её точной количественной оценки.

Фактическую эффективность работы оператора $Э_{оп}$, как и любой системы контроля, представляется возможным в общем случае представить как отношение надёжности $Н_{оп}$ (или другого интегрального критерия) к суммарной экономической эффективности $\Sigma З$ его работы:

$$Э_{оп} = Н_{оп} / \Sigma З, \quad (8)$$

где $\Sigma З = З_1 + З_2 + З_3$ — основные составляющие суммарных затрат: $З_1$ — стоимость (средства, время) непосредственного контроля; $З_2$ — затраты, связанные с ошибочной браковкой годного объекта контроля (перебраковка); $З_3$ — убытки (разрушения, аварийная ситуация), связанные с нерегистрацией (пропуск, ошибочная оценка размеров) недопустимых дефектов (недобраковка).

Данный показатель расширяет возможности сравнительного анализа результатов контроля. Например, при 100-процентной выявляемости дефектов и отсутствии фактов перебраковки и недобраковки эффективность работы будет выше у того оператора, у которого значение $З_1$ будет минимальным. При наличии же фактов перебраковки или недобраковки значимость величины $З_1$ существенно снижается и в сравнительных расчётах во многих случаях ею можно пренебречь.

Так как реальные затраты, в частности последствия недобраковки, подсчитать не так просто, представляется возможным определять количественную оценку эффективности систем контроля через значения вероятностей перебраковки и недобраковки по результатам контроля тест-образцов.

**Интегральный показатель качества.** Значения вероятностей перебраковки и недобраковки могут быть использованы как самостоятельные критерии качества конкретной системы контроля. Они могут также учитываться при определении интегрального показателя качества системы ультразвукового контроля, предлагаемого в данной работе:

$$П_{кач} = K^{и}_{отн} - P_{пер} - P_{нед}, \quad (9)$$

где $K^{и}_{отн}$ — интегральный коэффициент относительной выявляемости дефектов, $P_{пер}$ — вероятность перебраковки, $P_{нед}$ — вероятность недобраковки.

Для практического использования при сравнительном анализе показателя «эффективность» и интегрального показателя качества как наиболее комплексных критериев качества ультразвукового контроля сварных соединений, необходимо изготовление специальных тест-образцов, содержащих искусственные дефекты определённых унифицированных типоразмеров.

**Выводы.** 1. Некорректно использование показателей «точность», «достоверность», «информативность», «надёжность» как количественных критериев качества ультразвукового контроля сварных соединений, пока не получена объективная информация о реальной дефектности объекта контроля (например, на основе послойной разрезки).

При сравнительном анализе различных систем контроля и аттестации операторов данные показатели качества правомерно использовать только по результатам контроля испытательных образцов, содержащих искусственные дефекты нормированных размеров, формы и местоположения.

2. Предложен интегральный показатель качества результатов ультразвукового контроля.

**Библиографический список**

1. Щербинский, В. Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений / В. Г. Щербинский. — Москва: Тиссо, 2005. — 214 с.

2. Клюев, В. В. Техническая диагностика — основа безопасности страны / В. В. Клюев, В. Т. Бобров // Контроль. Диагностика. — 2011. — № 6. — С. 55—61.

3. Crutzen, S. Summary of the PISC II project: PISC II report N 1 — June 1985 / S. Crutzen // International Journal of Pressure Vessels and Piping. — 1987. — V. 28. — P. 311—346.
4. Волченко, В. Н. Вероятность и достоверность оценки качества металлопродукции / В. Н. Волченко. — Москва: Металлургия, 1979. — 88 с.
5. Performance demonstration in NDT by statistical methods: ROC and POD for ultrasonic and radiographic testing / C. Nockeman [et al.] // 6th European Conference on Non Destructive Testing, 24—28th October, Nice, 1994. — V. 1. — P. 69—79.
6. Давиденко, В. Ф. Развитие методов и средств неразрушающего контроля сварных соединений и методов оценки их качественных характеристик / В. Ф. Давиденко, В. А. Троицкий // Дефектоскопия. — 1991. — № 5. — С. 47—54.
7. Розина, М. В. Оценка информативности систем неразрушающего контроля, применяемых при строительстве и дефектации судов / М. В. Розина, Л. М. Яблоник // Дефектоскопия. — 1991. — № 4. — С. 87—94.
8. Новицкий, П. В. Основы информационной теории измерительных устройств / П. В. Новицкий. — Ленинград: Энергия, 1968. — 98 с.
9. Шеннон, К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. — Москва: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. — 112 с.
10. Гурвич, А. К. Системы неразрушающего контроля: эффективность, достоверность, информативность и надёжность / А. К. Гурвич, Г. Я. Дымкин // Ультразвуковая дефектоскопия металлоконструкций. Информативность и достоверность. УЗДМ-98: сб. докл. XVI Петербургской конф. 3—5 июня 1998 г., Санкт-Петербург, 1998. — С. 12—16.

Материал поступил в редакцию 16.12.2011.

**References**

1. Shherbinskij, V. G. Texnologiya ul`trazvukovogo kontrolya svarny`x soedinenij / V. G. Shherbinskij. — Moskva: Tisso, 2005. — 214 s. — In Russian.
2. Klyuev, V. V. Texnicheskaya diagnostika — osnova bezopasnosti strany` / V. V. Klyuev, V. T. Bobrov // Kontrol`. Diagnostika. — 2011. — # 6. — S. 55—61. — In Russian.
3. Crutzen, S. Summary of the PISC II project: PISC II report N 1 — June 1985 / S. Crutzen // International Journal of Pressure Vessels and Piping. — 1987. — V. 28. — P. 311—346.
4. Volchenko, V. N. Veroyatnost` i dostovernost` ocenki kachestva metalloprodukcii / V. N. Volchenko. — Moskva: Metallurgiya, 1979. — 88 s. — In Russian.
5. Performance demonstration in NDT by statistical methods: ROC and POD for ultrasonic and radiographic testing / C. Nockeman [et al.] // 6th European Conference on Non Destructive Testing, 24—28th October, Nice, 1994. — V. 1. — P. 69—79.
6. Davidenko, V. F. Razvitie metodov i sredstv nerazrushayushhego kontrolya svarny`x soedinenij i metodov ocenki ix kachestvenny`x xarakteristik / V. F. Davidenko, V. A. Troiczkij // Defektoskopiya. — 1991. — # 5. — S. 47—54. — In Russian.
7. Rozina, M. V. Ocenka informativnosti sistem nerazrushayushhego kontrolya, primenyaemy`x pri stroitel`stve i defektacii sudov / M. V. Rozina, L. M. Yablonik // Defektoskopiya. — 1991. — # 4. — S. 87—94. — In Russian.
8. Noviczkij, P. V. Osnovy` informacionnoj teorii izmeritel`ny`x ustrojstv / P. V. Noviczkij. — Leningrad: E`nergiya, 1968. — 98 s. — In Russian.
9. Shennon, K. Raboty` po teorii informacii i kibernetike / K. Shennon. — Moskva: Izd-vo inostr. lit-ry`, 1963. — 112 s. — In Russian.
10. Gurvich, A. K. Sistemy` nerazrushayushhego kontrolya: e`ffektivnost`, dostovernost`, informativnost` i nadyozhnost` / A. K. Gurvich, G. Ya. Dy`mkin // Ul`trazvukovaya defektoskopiya metallokonstrukcij. Informativnost` i dostovernost`. UZDM-98: sb. dokl. XVI Peterburgskoj konf. 3—5 iyunya 1998 g., Sankt-Peterburg, 1998. — S. 12—16. — In Russian.

## QUALITY CRITERIA OF WELDED JOINT ULTRASONIC TESTING

**A. S. Korobtsov, D. V. Rogozin**
(Don State Technical University)

*The correct usage fields of the quality values and criteria for the ultrasonic testing of welded products are considered.*
***Keywords:*** *welded joints, ultrasonic testing, quality.*

УДК 620.91

# Математическая модель динамики вращения ветротурбины и поворота малой ветроэнергетической установки для фермерских хозяйств посредством автоматической системы ориентации

**А. С. Гуринов, В. Л. Гапонов**
(Донской государственный технический университет)

*Представлено математическое моделирование динамики вращения ветротурбины и поворота ветроэнергетической установки. Показано распределение углов атаки лопасти по азимуту вращения ветротурбины при угле косой обдувки 30°. Видно, что обтекание при наличии ветра несоосного с осью вращения приводит к существенной неравномерности углов атаки и, соответственно, к изменению сил на лопастях в процессе вращения.*

***Ключевые слова:*** *ветроэнергетическая установка, моделирование динамики поворота, моделирование динамики вращения ветрогенератора, лопасть.*

**Введение.** Эффективность горизонтально-осевой ВЭУ зависит от многих факторов. Одним из важных показателей является способность установки быстро перестраиваться навстречу ветру с наименьшим углом к нему. В то же время, вследствие инерционных сил, которые затрудняют перестройку ветроустановки вслед за изменениями метеорологической обстановки, ВЭУ постоянно находится в состоянии присутствия косой обдувки, т. е. наличия угла между осью вращения и направлением ветра. Свою лепту в наращивание величины вносит и трение в опоре горизонтально-осевой ВЭУ. Для того чтобы оценить влияние различных факторов и определить эффективность ВЭУ уже на стадии разработки, целесообразно иметь математическую модель ветроустановки. Для её создания необходимо рассмотреть основные силы, действующие на ветротурбину.

**Моделирование динамики поворота ВЭУ.** Как известно, вращение ветротурбины обусловлено наличием аэродинамических сил, создающих крутящий момент на валу генератора. Однако этому вращению препятствует момент генератора, появляющийся вследствие наличия сил трения в мультипликаторе, опорах вала и сил сопротивления вследствие электромагнитных сил.

Суммарное уравнение моментов на валу ветрогенератора можно представить следующим образом:

$$M_k - M_Г - M_{y_{тр}} = \left(I_{ВТ} + nI_{МП}\right)\frac{d\omega_y}{dt}, \qquad (1)$$

где $M_k$ — крутящий момент, обусловленный наличием аэродинамических сил; $M_Г$ — момент сопротивления на генераторе, обусловленный наличием электрической нагрузки; $M_{y_{тр}}$ — момент, обусловленный силами трения в мультипликаторе и опорах вала; $I_{ВТ}$ — момент инерции ветротурбины; $n$ — передаточное отношение мультипликатора генератора; $I_{МП}$ — момент инерции ротора генератора; $\omega_y$ — угловая скорость вращения ветротурбины.

При этом разворачивающий момент ВЭУ равен:

$$M_{пер} - M_z - M_{гир} - M_{z_{тр}} = I_{z_{ВЭУ}}\frac{d\omega_z}{dt}, \qquad (2)$$

где $M_z$ — момент от аэродинамических сил на ветротурбине, обусловленный косой обдувкой; $M_{пер}$ — момент от сил, действующих на оперение; $M_{гир}$ — гироскопический момент ветротур-

бины; $M_{z_{тр}}$ — момент от сил трения в опоре ветротурбины; $I_{z_{ВЭУ}}$ — момент инерции ветротурбины относительно оси поворота; $\omega_z$ — угловая скорость поворота ВЭУ относительно вертикальной оси.

Момент генератора является функцией электрической нагрузки $M_Г = f(R)$, трение в опоре величина постоянная

$$M_{z_{тр}} = k_п \frac{d_п}{2} m_{ВЭУ} g \,, \qquad (3)$$

где $k_п$ — коэффициент трения в подшипнике; $m_{ВЭУ}$ — масса поворачивающейся части ВЭУ; $d_п$ — диаметр сепаратора опорного подшипника.

**Моделирование динамики вращения горизонтально-осевой ветротурбины.** Крутящий момент, обусловленный наличием аэродинамических сил, зависит от характера обтекания ветротурбины и, в первую очередь, наличием косой обдувки. Он может быть рассчитан несколькими методами. Наиболее оптимальным, с точки зрения сложности и точности, является метод расчёта единичного элемента лопасти [1, 2, 3]. Этот метод расчёта основывается на допущении, что каждый элемент лопасти ветротурбины можно рассматривать как отрезок профиля, двигающийся по винтовой линии. Аэродинамические силы рассчитываются, исходя из результирующей скорости потока, обтекающего этот профиль. Причём считается, что прилегающие части лопасти не влияют на характеристики рассматриваемого отрезка профиля. Силы и крутящий момент винта получаются интегрированием элементарных сил и моментов отдельных элементов лопасти. Соответственно задача определения аэродинамических характеристик ветротурбины решается при следующих допущениях:

— лопасть является абсолютно жёсткой на изгиб и кручение;

— аэродинамические характеристики профиля сечения лопасти не зависят от скольжения потока вдоль лопасти и влияния центробежных сил на пограничный слой.

На элементе лопасти при вращении возникают аэродинамические силы, обусловленные наличием как окружной, так и набегающего потока через ветротурбину. Представленное на рис. 1 соотношение скоростей сечения лопасти соответствует лопасти, находящейся в верхнем положении с обдувкой набегающего потока под углом $\alpha_в$ к оси вращения. В этом случае вертикальная составляющая скорости потока $U_y$ отрицательна и угол атаки $\alpha_p$ меньше угла установки.

Скорость продольного движения представляет собой сумму скорости набегающего потока и окружной скорости.

$$U_x = \omega r + W \sin\psi \,, \qquad (4)$$

где $r$ — текущее значение радиуса; $\omega$ — угловая скорость несущего винта; $W$ — скорость ветра; $\psi$ — азимут лопасти.

Вертикальная составляющая в плоскости сечения профиля скорости элемента лопасти будет равна:

$$U_y = W \cos\alpha_в \,, \qquad (5)$$

где $\alpha_в$ — угол между осью вращения и направлением ветра.

Угол притекания имеет вид:

$$\beta = \varphi + \alpha_p \qquad (6)$$

$$\beta = \mathrm{arctg}\frac{U_y}{U_x} \qquad (7)$$

$$\alpha_p = \beta - \varphi \qquad (8)$$

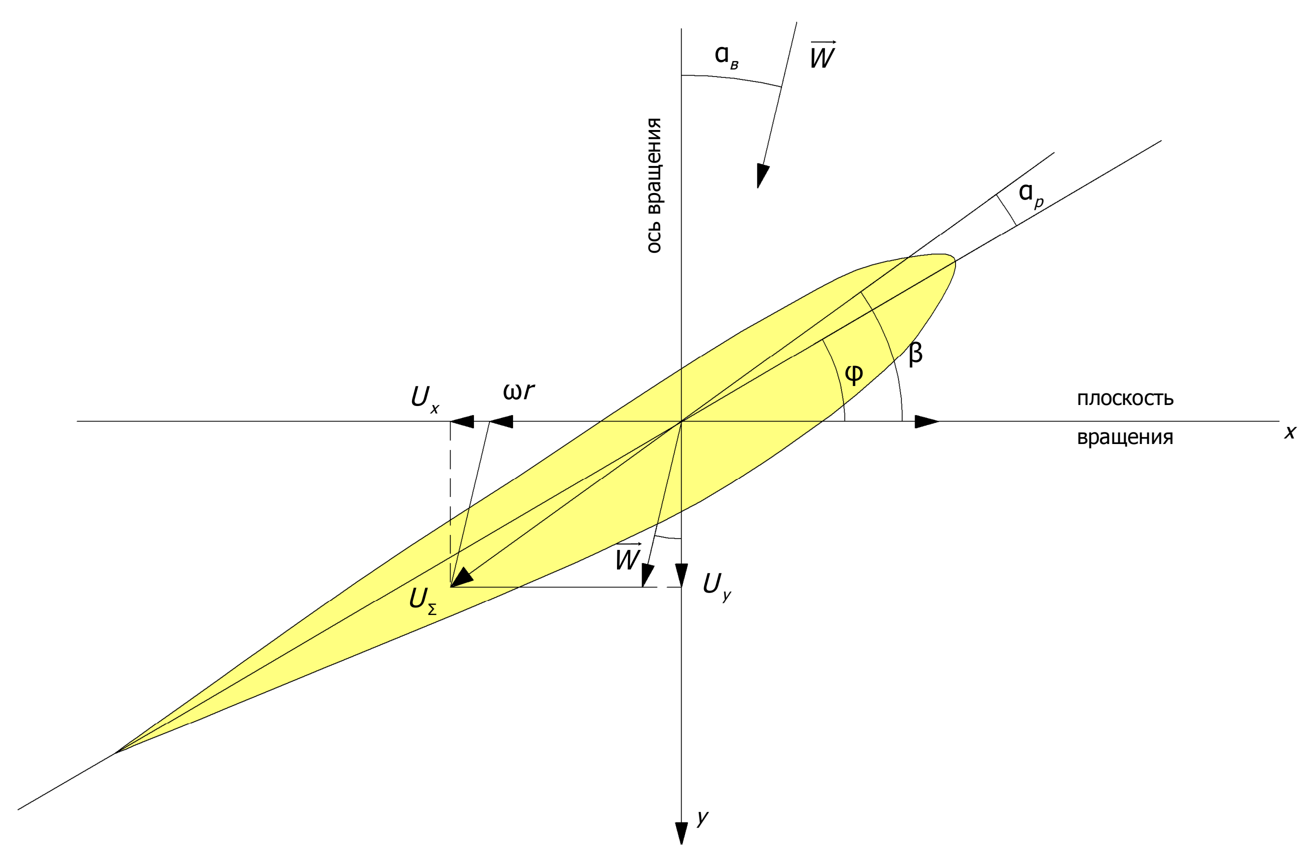



Рис. 1. Распределение аэродинамических скоростей и углов на сечении лопасти

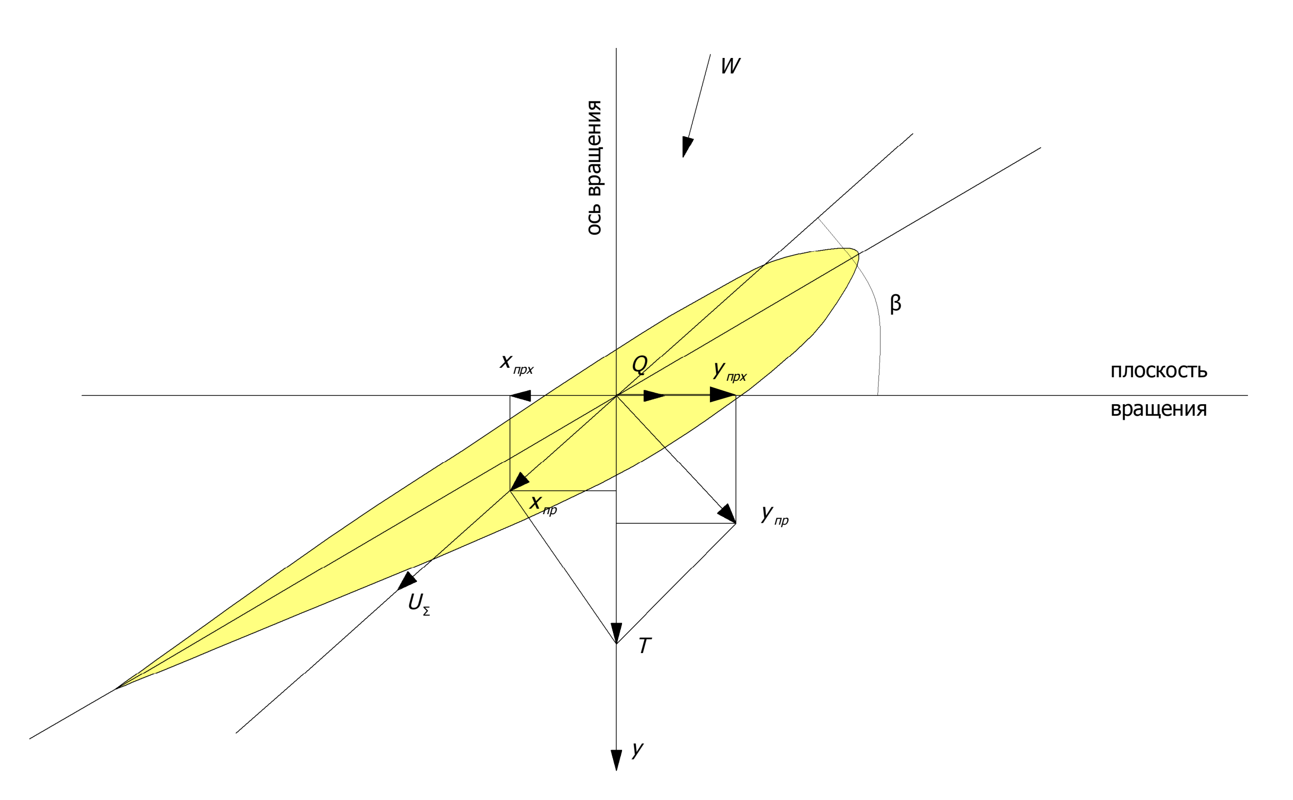



Рис. 2. Распределение аэродинамических сил на сечении лопасти

Значение осевой силы элемента лопасти равно:

$$dT = dX_{пр}\sin\beta + dY_{пр}\cos\beta\,. \tag{9}$$

Значение элемента силы, направленной на вращение ветротурбины:

$$dQ = dY_{пр}\sin\beta - dX_{пр}\cos\beta \tag{10}$$

$$dM_k = rdQ \tag{11}$$

$$dX_{пр} = \frac{\rho U_\Sigma^2}{2}c_x bdr = \frac{\rho\left(U_x^2 + U_y^2\right)}{2}c_x bdr \tag{12}$$

$$dY_{пр} = \frac{\rho U_\Sigma^2}{2}c_y bdr = \frac{\rho\left(U_x^2 + U_y^2\right)}{2}c_y bdr\,, \tag{13}$$

где $c_y$ — коэффициент подъёмной силы профиля на участке элемента лопасти; $c_x$ — коэффициент силы сопротивления профиля на участке элемента лопасти; $U_\Sigma$ — суммарная скорость обтекания элемента лопасти; $U_x$, $U_y$ — проекции скорости движения элемента лопасти; $b$ — хорда лопасти; $\rho$ — плотность воздуха; $dr$ — длина элемента лопасти вдоль радиуса.

Величина коэффициента подъёмной силы в линейной зоне может быть определена по формуле:

$$c_y = \alpha_p a_\infty = a_\infty\left(\varphi + \frac{U_y}{U_x}\right), \tag{14}$$

где $a_\infty$ — производная коэффициента подъёмной силы по углу атаки; $\alpha_p$ — текущий угол атаки сечения относительно точки нулевой подъёмной силы профиля; $\varphi$ — угол установки профиля.

Текущий угол установки профиля представляет собой:

$$\varphi_T = \varphi_0 + \Delta\varphi_T = \varphi_0 + \Delta\varphi\frac{\left(r_T - R_0\right)}{R - R_0}\,. \tag{15}$$

Принимая во внимание тот факт, что помимо вращения ветротурбины, присутствует и второе вращательное движение, а именно вращение всей установки ветрогенератора, тогда скорость продольного движения, а также вертикальная составляющая скорости элемента лопасти принимают несколько иной вид.

Плечо скорости вращения $V_{вр}$, действующей на произвольную точку лопасти, равно:

$$r_m = \sqrt{r^2 + m^2}\,, \tag{16}$$

где $r_m$ — плечо вращающей силы; $r$ — расстояние от центра лопасти до точки приложения сил; $m$ — расстояние от оси вращения ветрогенератора до его ветротурбины.

$$\gamma = \operatorname{arctg}\frac{m}{r} \tag{17}$$

$$V_{вр} = \omega_z r_m \cos\gamma \tag{18}$$

$$U_x = \omega r + W\sin\alpha_в\cos\psi \tag{19}$$

$$U_y = W\cos\alpha_в + V_{вр}\sin\psi \tag{20}$$

Для проведения интегрирования величины аэродинамических сил ветротурбины по радиусу необходимо учесть потерю эффективности ветротурбины на краю диска вследствие перетекания воздуха на концах лопастей. Вследствие разницы давления воздух перетекает с нижней поверхности на верхнюю, уменьшается разница в давлении и уменьшаются и силы в области концов

лопастей. Зона распространения концевых потерь зависит от удельной нагрузки на лопасть и на всю ветротурбину.

Однако мало нагруженные ветротурбины можно рассчитывать при принятии некоторых простых допущений, касающихся концевых потерь. Одним из них является допущение о том, что часть лопасти длиной, равной половине концевой хорды, не создаёт аэродинамических сил. В этом случае относительный радиус рабочей части лопасти равен:

$$B = 1 - \frac{b}{2R}. \tag{21}$$

Осевое усилие на ветротурбине равно:

$$T = z\int_{0}^{360} d\psi \int_{r_0}^{BR} dT. \tag{22}$$

Интегрированное значение момента лопасти определяется так:

$$M_z = z\int_{0}^{360} d\psi \int_{r_0}^{BR} r_m dT, \tag{23}$$

где $z$ — количество лопастей.

Таким образом, момент ветротурбины представляет собой:

$$M_z = z\int_{0}^{360} d\psi \int_{r_0}^{BR} \left( \left( \frac{\rho\left( \left(\omega r + W\sin\alpha_в \cos\psi\right)^2 + \left(W\cos\alpha_в + \omega r_m \cos\gamma \sin\psi\right)^2 \right)}{2} c_x b dr \right)\sin\beta + \left( \frac{\rho\left( \left(\omega r + W\sin\alpha_в \cos\psi\right)^2 + \left(W\cos\alpha_в + \omega r_m \cos\gamma \sin\psi\right)^2 \right)}{2} c_y b dr \right)\cos\beta \right) r_m dr \tag{24}$$

Крутящий момент определяется следующим образом:

$$M_k = z\int_{0}^{360} d\psi \int_{r_0}^{BR} r dQ. \tag{25}$$

При численном интегрировании лопасть разбивается на элементы длиной:

$$dr_M = \frac{\left(BR - R_0\right)}{n_b}, \tag{26}$$

где $n_b$ — количество отрезков, на которые разбивается лопасть.

Радиус $i$-го элемента лопасти равен:

$$r_{M1} = R_0 + \frac{dr}{2}, \tag{27}$$

$$r_{Mi} = r_{M(i-1)} + dr_M. \tag{28}$$

**Выводы.** На основании предложенной выше методики было выполнено моделирование экспериментальной ветротурбины диаметром 2 м на разных углах косой обдувки. На рис. 3 показано распределение углов атаки лопасти по азимуту вращения при угле косой обдувки 30°. Видно, что обтекание при наличии ветра, несоосного с осью вращения, приводит к существенной неравномерности углов атаки и, соответственно, распределения сил на лопастях в процессе вращения. Причём если угол между направлением вращения и направлением ветра присутствует в горизонтальной плоскости, то основной перекос аэродинамических усилий присутствует в вертикальной плоскости.

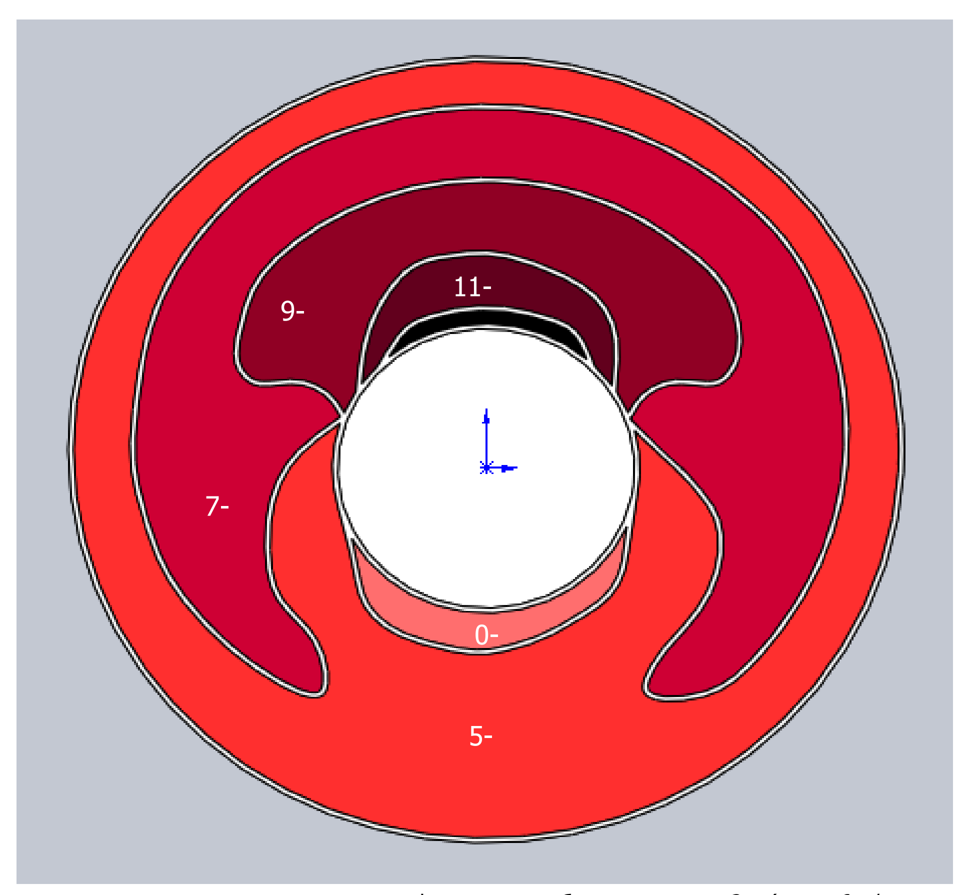



Рис. 3. Распределение аэродинамических углов атаки профиля ветротурбины диаметром 2 м (ветер 6 м/с, угол косой обдувки 30°)

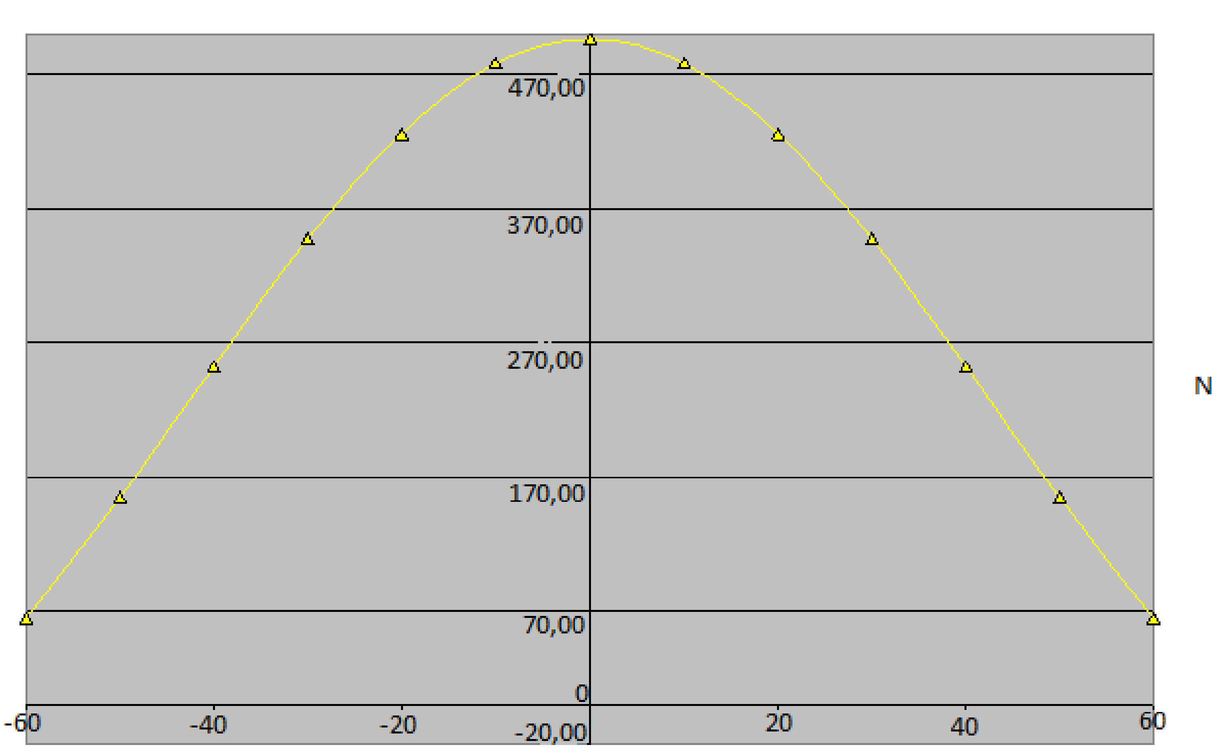



Рис. 4. Мощность на валу ВЭУ в зависимости от угла косой обдувки

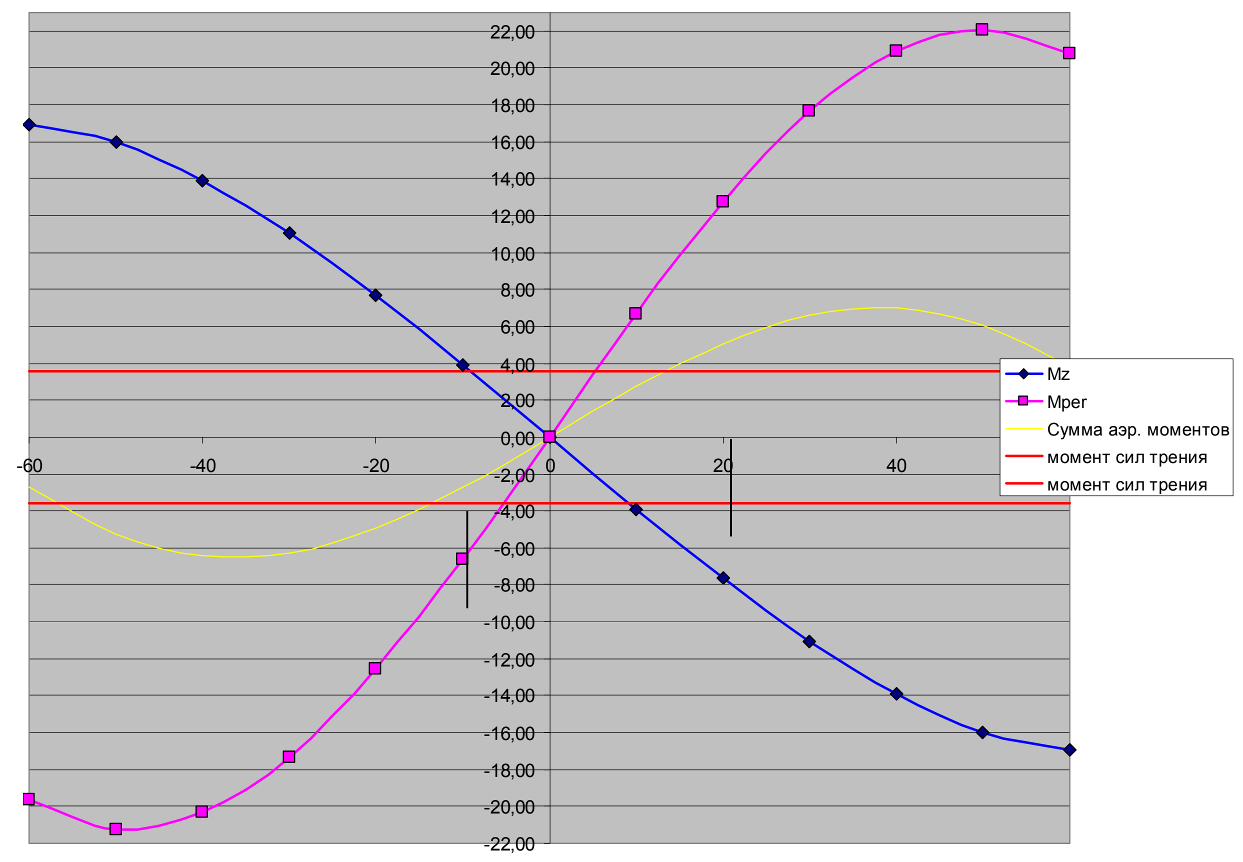



Рис. 5. Значения моментов на ВЭУ от аэродинамических сил и сил трения

Расчёт крутящего момента при этом показал, что косая обдувка приводит к существенному снижению эффективности ВЭУ. Так, при угле 15° снижение вырабатываемой мощности составляет 11 %, а при 30° эта величина вырастает до 35 % (рис. 4).

Выполненные далее расчёты поворота всего ветрогенератора при постоянной частоте вращения позволили определить моменты аэродинамических сил на ветроколесе и стабилизаторе (рис. 5). Значение момента трения выглядит как две горизонтальные линии. Это фактически зона нечувствительности ВЭУ к повороту. Видно, что до значения угла косой обдувки 14° ВЭУ не будет совершать поворот относительно своей вертикальной оси.

Таким образом, можно констатировать, что ВЭУ всегда находится в зоне косой обдувки не только вследствие инерционных сил, но сил трения.

**Библиографический список**

1. Дудник, В. В. Определение оптимального азимута установки лопастей соосного сверхлёгкого вертолёта / В. В. Дудник, В. А. Колот // Вестник ДГТУ. — 2011. — Т. 11, № 5 (56). — С. 667—675.

2. Вертолёты. Расчёт и проектирование. В 3 книгах. Книга 1. Аэродинамика / М. Л. Миль [и др.]; под ред. М. Л. Миля. — Москва: Машиностроение, 1966. — 450 с.

3. Расчёт распределения рабочих и испытательных нагрузок на лопасть крупной ВЭУ / Н. В. Белан [и др.]. — Харьков: ХАИ, 2006. — 49 с.

Материал поступил в редакцию 01.12.2011.

**References**

1. Dudnik, V. V. Opredelenie optimal`nogo azimuta ustanovki lopastej soosnogo sverxlyogkogo vertolyota / V. V. Dudnik, V. A. Kolot // Vestnik DGTU. — 2011. — T. 11, # 5 (56). — S. 667—675. — In Russian.

2. Vertolyoty`. Raschyot i proektirovanie. V 3 knigax. Kniga 1. Ae`rodinamika / M. L. Mil` [i dr.]; pod red. M. L. Milya. — Moskva: Mashinostroenie, 1966. — 450 s. — In Russian.

3. Raschyot raspredeleniya rabochix i ispy`tatel`ny`x nagruzok na lopast` krupnoj VE`U / N. V. Belan [i dr.]. — Xar`kov: XAI, 2006. — 49 s. — In Russian.

## MATHEMATICAL MODEL OF ROTATIONAL DYNAMICS OF WIND TURBINE AND SMALL AEROGENERATOR TURN FOR FARMS USING AUTOMATIC ORIENTATION SYSTEM

**A. S. Gurinov, V. L. Gaponov**
(Don State Technical University)

*The mathematical simulation of wind turbine rotation and gondola turning is presented. The blade angle-of-attack distribution in azimuth of the wind turbine rotation with 30° angle of lateral wind is shown. The study shows that the nonaxial rotation flow causes critical irregularity of the angles of attack and appropriately force variation on the blades during the rotation.*
***Keywords:*** *aerogenerator, turn dynamic simulation, wind turbine rotation dynamic simulation, blade.*

УДК 004.65

# Построение онтологии технического сервиса в агропромышленном комплексе

**В. П. Димитров, Л. В. Борисова, Б. Б. Жмайлов**
(Донской государственный технический университет)

*На основании процессно-системного подхода определены пространство знаний и основные концепты области технического сервиса в агропромышленном комплексе. Предложены онтологическая модель в виде таксономической иерархии классов с помощью OWL-диаграммы и подход к формированию контентов метаданных для её описания. В качестве инструментального средства использовали платформу Protégé.*
***Ключевые слова:*** *онтология, метаданные, Protégé, OWL.*

**Введение.** Онтологическое представление знаний используется для семантической интеграции информационных ресурсов, адекватной интерпретации содержания текстовых документов и поисковых запросов, представленных на естественном языке. Онтологии являются новыми интеллектуальными средствами для поиска ресурсов в сети Интернет. Онтологию предметной области в контексте излагаемого следует рассматривать не как науку о бытии [1], а как словарь терминов, специфических для данной предметной области, вместе с совокупностью аксиом, которые обеспечивают интерпретацию и правильное использование этих терминов. Одним из способов описания онтологии предметной области, используемым в исследовательских системах, является представление её в форме тезауруса предметной области [2—5]. Онтология должна обеспечивать такое представление понятий и отношений между ними, на основе которого можно было бы автоматически строить внутренние хранилища данных, осуществлять навигацию по информационному пространству и организовывать содержательный поиск.

В качестве инструментального средства для построения онтологии использовали платформу Protégé. Она поддерживает два основных способа моделирования онтологий посредством редакторов Protégé-Frames и Protégé-OWL. Онтологии, построенные в Protégé, могут быть экспортированы во множество форматов, включая RDF (RDF Schema), OWL и XML Schema. Protégé широко распространена и имеет открытую, легко расширяемую архитектуру за счёт поддержки модулей расширения функциональности.

Редактор Protégé-Frames позволяет пользователям строить и заполнять онтологии, основанные на фреймах, в соответствии с OKBC (Open Knowledge Base Connectivity protocol — прикладной интерфейс программирования для доступа к базам знаний систем представления знаний). В этой модели онтология состоит из набора классов, организованных в категоризованную иерархию для представления понятий предметной области, набора слотов, связанных с классами, для описания их свойств и отношений между ними, и набора экземпляров этих классов — отдельных экземпляров понятий, которые имеют определённые значения своих свойств.

OWL (Ontology Web Language) — язык описания онтологии для семантической паутины. Язык OWL позволяет описывать классы и отношения между ними, присущие веб-документам и приложениям OWL. Он основан на более ранних языках OIL и DAML+OIL (в настоящее время является рекомендованным консорциумом Всемирной паутины). В основе языка — представление действительности в модели данных «объект — свойство». OWL пригоден для описания не только веб-страниц, но и любых объектов действительности. Каждому элементу описания в этом языке (в том числе свойствам, связывающим объекты) ставится в соответствие URI.

**Описание предметной области.** На основании системно-процессного подхода были установлены цели и функции, а также базовые процессы, которые являются основой

технического сервиса в агропромышленном комплексе [6]. Для организации сервиса сельхозмашин преобладающей становится система, основанная на взаимном экономическом интересе сервисных предприятий и сельских товаропроизводителей, а также на полной свободе взаимоотношений сторон, участвующих в производственном процессе. Эта система базируется на следующих принципах:

1. Ремонтное производство строится исходя из признания приоритета сельского товаропроизводителя, т. е. организация ремонта машин и оборудования ориентируется на его интересы и эффективность его производственной деятельности.
2. Ремонт машин и оборудования организуют с учётом региональных особенностей их использования.
3. Организация сервиса предполагает необходимость учёта особенностей конструктивно-технологического исполнения машин.
4. Обеспечение экономической заинтересованности в сервисе машин всех участников сельскохозяйственного производства: владельцев машин, сервисных предприятий, заводов-изготовителей машин и запасных частей к ним.
5. Соблюдение приоритета владельцев машин в выборе исполнителей ремонта.
6. Обеспечение оптимальности распределения работ по техническому обслуживанию и ремонту машин между подразделениями сервисной базы, основанной на учёте экономических, технических и организационных факторов.
7. Обеспечение оптимальных пропорций между производством новых машин, запасных частей к ним и сервисным производством.
8. Создание условий для экономической заинтересованности заводов-изготовителей в сервисе своей продукции. Предусматриваются обязательное участие предприятий — изготовителей машин и оборудования в организации фирменного ремонта, их сотрудничество с сервисными предприятиями всех уровней.

Организационная структура, размеры и функции предприятий технического сервиса АПК обусловлены работами, выполняемыми при обслуживании и ремонте машин. Анализ спектра этих работ показывает, что они могут быть как централизованными, так и децентрализованными. Часто повторяющиеся и технически несложные виды работ, не требующие специального оборудования и сложных приборов, выполняются на местах работы или хранения машин и оборудования без вывода их из эксплуатации.

Главное назначение сервисной базы АПК России — максимальное удовлетворение потребностей сельского товаропроизводителя, а также предприятий перерабатывающих отраслей АПК в поддержании и восстановлении работоспособности машин и оборудования.

Первичные производители сельскохозяйственной продукции мелкотоварного назначения (крестьянские хозяйства, семейные фермы) должны иметь собственную производственную базу для проведения несложного ремонта, технического обслуживания (ТО) тракторов, комбайнов и сельскохозяйственных машин.

Таким образом, рассматриваемая задача охватывает такие области знаний, как: сельскохозяйственная техника, ремонт, технология проведения работ, консалтинг и дистрибуция в АПК. Данную область знаний в общем виде можно описать выражением:

$$З_я = \{D \cup DB \cup F\}, \qquad (1)$$

где $З_я$ — множество объектов, содержащих явные знания в области технического сервиса сельхозмашин; $D$ — техническая документация; $DB$ — множество баз данных; $F$ — множество файлов.

Из этого множества знаний можно выделить декларативную часть, которая представляет собой нормативно-техническую, нормативно-правовую документацию, а также процедурную

часть, охватывающую технологические аспекты использования сельхозмашин, проведение ремонтных и диагностических операций и т. п. Для получения единого концептуального пространства знаний в данной предметной области необходимо построить её онтологию. Это позволит реализовать бизнес-логику интеллектуальной информационной системы (ИИС) системы и информационный ресурс, учитывающий семантику обрабатываемой информации. Поэтому цель онтологии — точно описать концептуализацию, ограничивая возможные интерпретации нелогических символов логического языка для установления консенсуса в том, как описывать знания с использованием этого языка. Концептуализация рассматривается как множество неформальных правил, которые ограничивают структуру предметной области [7].

Таким образом, онтологическая модель технического сервиса в агропромышленном комплексе представляет собой набор связанных онтологий:

$$O_{тс_апк} = \{O_{см}, O_{д}, O_{к}, O_{то}\}, \quad (2)$$

где $O_{тс_апк}$ — онтология технического сервиса агропромышленного комплекса; $O_{см}$ — онтология сельхозмашин; $O_{д}$ — онтология дистрибуции; $O_{к}$ — онтология консалтинга; $O_{то}$ — онтология технического обслуживания.

Каждая из онтологий в (2) является иерархически организованной и последовательно расширяемой. Выделение иерархии областей знаний позволяет онтологической модели быть гибкой, создавать отдельно онтологии разных подобластей знаний, которые могут иметь разную детальность, в зависимости от потребностей их моделирования.

Под онтологией $O$ в данной работе понимается знаковая система [7]

$$\{C, T, R, F, L, A\}, \quad (3)$$

где $C$ — множество элементов, которые называются понятиями; $T$ — частичный порядок на множествах $C$ и $R$, задающий отношения «подкласс» и «суперкласс»; $R$ — множество элементов, которые называются свойствами (двуместные предикаты); $F$ — функция, которая назначает каждому элементу множества $R$ множество элементов из множества $C$ (с учётом их иерархии в $T$), к которым оно применимо (область действия, domain) и множество элементов из множества $C$, или литералов (экземпляров примитивных типов, таких как строки и числа), которые могут быть их значениями (область возможных значений, range); $L$: $\{L_C, L_R, \alpha_C, \alpha_R\}$ — множество текстовых меток $L_C$, $L_R$ для понятий и отношений, которые определяют профессиональные термины организации и их соответствие: $\alpha_C$ — элементам множества $C$, $\alpha_R$ — элементам множества $R$; $A$ — набор аксиом онтологии — утверждений об элементах предметной области, которые считаются верными, выраженных с использованием соответствующего логического языка. Таким образом, математическая модель онтологии содержит:

- множество элементов $C$, которые называются «символами понятий»;
- для каждого $c \in C$ задаётся определение данного понятия на естественном языке;
- множество элементов $R$, которые называются «символами отношений»;
- для каждого $r \in R$ задаётся:

определение отношения на естественном языке;

список символов классов, которые называются областью определения $r$, записанные как $c_1 \times c_2 \times \times \ldots \times c_n$;

список символов классов, которые называются областью значений $r$;

- бинарное, транзитивное, рефлексивное несимметричное отношение $T$, которое называется отношением наследования $C \times C$.

Для каждого символа понятия $C$ все экземпляры, которые удовлетворяют условию: «являются экземпляром понятий $C$», считаются множеством экземпляров $C$, и данное множество обозначается как $I(C)$. Множество экземпляров согласуется с наследованием, так что

$I(c_1) \subseteq I(c_2)$, где $c_1$ является подклассом $c_2$. Отношение символов $c_1 \times c_2 \times \ldots \times c_n$ соответствует отношениям на $I(c_1) \times I(c_2) \times \ldots \times I(c_n)$. Аналогично символы отношений $r$ с областью определения $c_1$ и областью значений $c_2$ соответствуют функциям с областью определения $I(c_1)$ и областью значений $I(c_2)$. Следует отметить, что если класс $c_1$ является производным (наследуется) от класса $c$, то тогда каждый экземпляр класса $c_1$ также является экземпляром класса $c$, и, следовательно, уже на стадии онтологии известно, что словарь $c$ применим к словарю $c_1$.

**Модель предметной области.** Онтологическая модель в виде таксономической иерархии классов, описанной с помощью OWL-диаграммы, представлена на рис. 1. На самом верхнем уровне иерархии онтологии располагаются 4 стержневых концепта: consulting (консалтинг), maintenance (техническое обслуживание), agr_machins (сельхозмашины), distribution (организация сбыта).

Концепт consulting (консалтинг) включает в себя следующие концепты:

technology — консультации по технологиям механизированных работ и технологическому обслуживанию;

learning — обучение новой технике и технологиям;

optimisation — консультации по оптимизации состава средств механизации.

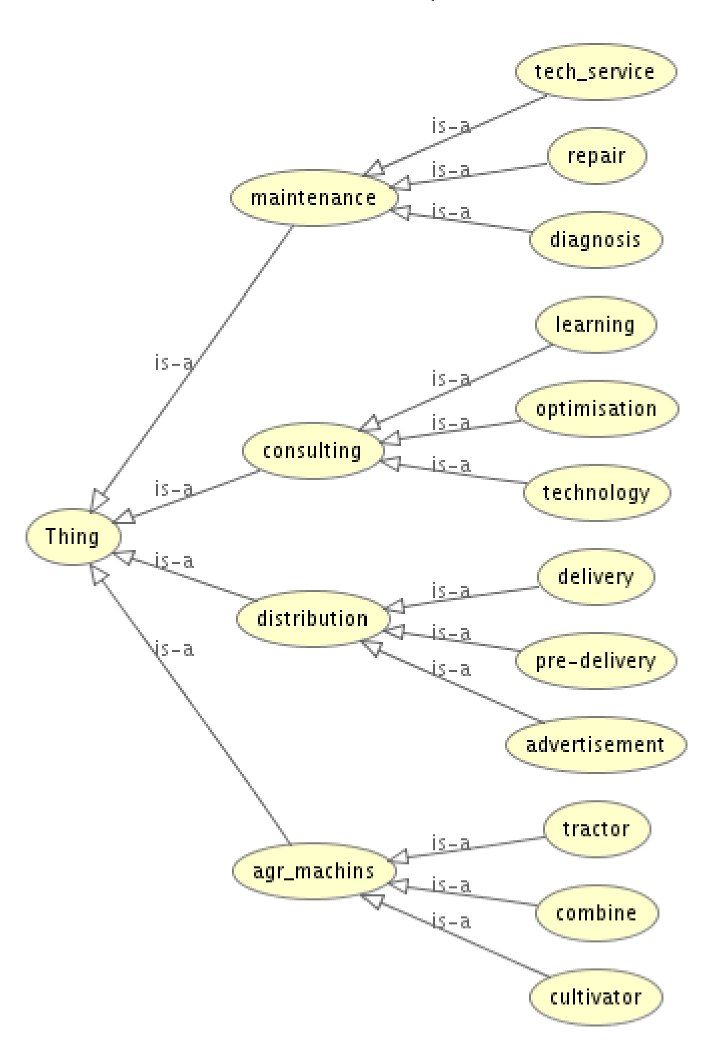



Рис. 1. OWL-диаграмма технического сервиса в агропромышленном комплексе

Концепт maintenance (техническое обслуживание) включает в себя следующие концепты:
tech_service — техническое обслуживание;
repair — ремонт;
diagnosis — диагностика машин и узлов.

Концепт agr_machins (сельхозмашины) включает в себя следующие концепты:
tractor — трактора;
combine — зерноуборочные комбайны;
cultivator — культиваторы.

Концепт distribution (организация сбыта) включает в себя следующие концепты:
pre-delivery — предпродажная подготовка;
advertisement — реклама техники;
delivery — доставка техники или агрегатов покупателю.

На основе построенной онтологической модели (2) описание ресурса (объекта) $O$ может быть представлено в виде набора семантических метаданных следующей структуры [8, 9]:

$$M_i = (M_{ki}(O), M_{ci}(O)), \quad (4)$$

где $M_{ki}(O)$ — это контекстные метаданные объекта знаний, описывающие взаимосвязи объекта с другими объектами и понятиями организации или литералами; $M_{ci}(O)$ — контентные метаданные ресурса, описывающие знания и информацию, содержащиеся в объекте.

Контекстные метаданные соответствуют набору значений свойств понятия $c_j \in C$, экземпляром которого является описываемый объект в онтологии, т. е.

$$M_{ki}(O) = (r_1(O_i, v_1) \vee r_2(O_i, v_2) \vee \ldots \vee r_r(O_i, v_r)), \quad (5)$$

где утверждение $r_i(O_i, v_i)$ состоит из отношения $r_i \in R$, описанного в онтологии $O$, URI (универсального идентификатора ресурса) описываемого объекта $O_i$, для которого определяются метаданные и значения $v_i$, которые могут быть либо URI некоторого экземпляра понятий онтологии организации, либо некоторым литералом (текстом, числом, датой) в соответствии с областями определения и возможных значений свойства $r_i$.

Контентные метаданные $M_{ci}(O)$ описываются наборами утверждений из $O$, т. е. семантические метаданные объектов знаний — отношениями и понятиями из онтологии основных предметных областей знаний в виде набора кортежей:

$$M_{ci}(Q) = (\{r_1(s_1, v_1), k_1\} \vee \{r_2(s_2, v_2), k_2\} \vee \ldots \vee \{r_k(s_k, v_k), k_k\}), \quad (6)$$

где $\{r_i(s_i, v_i), k_i\}$ — кортеж, включающий утверждение $r_i(s_i, v_i)$ и $k_i$ — важность данного утверждения для описания контента объекта знаний $i$. Утверждение $r_i(s_i, v_i)$ состоит из отношения $r_i \in R$, описанного в онтологии областей знаний, объекта $s_i$, которым может быть понятие онтологии $c_j \in C$ или экземпляр онтологии $i$ (ссылка на контекстные метаданные

некоторого экземпляра онтологии) и значения $v_i$, которое может быть либо URI некоторого экземпляра, либо некоторым литералом (текстом, числом, датой).

Семантические метаданные логически связаны с описываемым объектом организации, содержащим знания. Семантические метаданные позволяют:

1) устранять лексическую многозначность терминов, используемых для описания информационных объектов;

2) определять соответствие между различными информационными объектами, используя онтологию.

Развитие и стандартизация семантических метаданных являются важным этапом на пути развития и распространения семантических технологий. В этом отношении можно выделить два основных направления исследований: исследования в области структуры семантических метаданных и исследования в области языков описания семантических метаданных. В настоящее время исследования в области структуры семантических метаданных связаны с различными сферами их применения. То есть структура разрабатывается с учётом конкретных типов описываемых объектов.

Семантические метаописания относят к онтологии, при построении которой максимально учитывается семантика объектов некоторой предметной области. При этом семантические метаописания отражают не всю семантику (смысл) объекта, так же как онтология не может охватить всю описываемую ею предметную область. Отсюда вытекают определённые требования к метаописаниям, такие как:

- полнота представления знаний, закреплённых в онтологии;
- возможность использования метаописаний объектов в других системах;
- использование общепринятого стандарта, воспринимаемого другими системами.

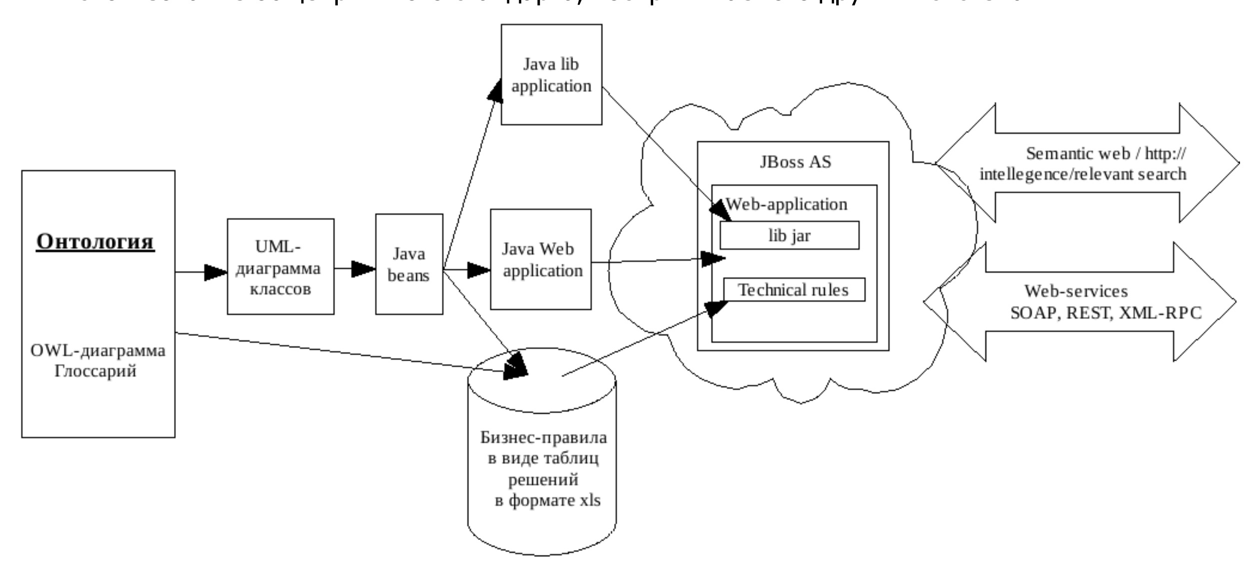



Рис. 2. Модель облачных вычислений в сервисном обслуживании технических систем АПК

Объединение единой онтологической модели знаний и моделей описаний объектов, содержащих знания, составляет онтологическую базу знаний. Использование онтологической базы знаний позволяет реализовать набор семантических методов поддержки процессов работы со знаниями организации. Эффективность работы со знаниями зависит от того, насколько каждый из этапов процесса преобразования знаний будет поддержан этими методами и соответствующим программным обеспечением.

На основе построенной онтологии нами была разработана модель системы технического сервиса в агропромышленном комплексе с использованием облачных вычислений. Реализация данной модели представлена на рис. 2. Облачные вычисления (cloud computing) — это модель обеспечения по требованию повсеместного и удобного сетевого доступа к общему пулу конфигурируемых вычислительных ресурсов (например, к сетям передачи данных, серверам, устройствам хранения данных, приложениям и сервисам — как вместе, так и по раздельности), которые могут быть оперативно предоставлены и освобождены с минимальными эксплуатационными затратами и (или) обращениями к провайдеру. В результате онтологического моделирования получены две стержневые составляющие, которые являются основой для построения модели облачных вычислений, это канонические UML-диаграммы и бизнес-правила. UML-диаграммы позволили реализовать бизнес-логику всей системы в целом на основе связи между концептами, установленными при онтологическом моделировании. Для семантической интерпретации бизнес-правил использовалась технология JBoss Drools. Бизнес-правила выполнены в виде таблиц решений с физической реализацией в файлах формата MS Excel. Эти таблицы заполнены декларативными знаниями — правилами о неисправностях, причинах их возникновения и способах устранения. В данном случае относящимся к различным системам комбайна, таким как гидросистема, АСК и т. п. Для реализации выполнения и поиска по этим правилам в системе JBoss Drools используется алгоритм Rete [10]. Так же были разработаны библиотека сущностей (beans) предметной области (Java lib) для реализации слоя бизнес-логики и веб-приложение (Web-application), которое позволяет взаимодействовать с моделью с помощью технологии Web-services, используя протокол http. Центральным звеном для реализации модели облачных вычислений (рис. 2) является сервер приложений. В задачи сервера приложений входит обеспечение функционирования машины бизнес-правил, Web-приложения, бизнес-логики и предоставление внешнего доступа для пользователей сервисов. В работе в качестве сервера приложений используется JBoss v. 5.

**Заключение.** Таким образом, полученная по результатам моделирования онтология предметной области может быть использована как основа для построения базы знаний. Кроме того, она включает машинно-интерпретируемые формулировки основных понятий предметной области и отношения между ними, что позволяет использовать её как исследователям в данной предметной области, так и автоматизированным системам поиска и обработки информации. Это существенно

упрощает анализ знаний в данной предметной области и даёт возможность повторного их использования.

**Библиографический список**

1. Кондаков, Н. И. Логический словарь / Н. И. Кондаков. — Москва: Наука, 1971. — 656 с.

2. Карпенко, А. П. Контроль понятийных знаний субъекта обучения с помощью когнитивных карт / А. П. Карпенко, Н. К. Соколов // Управление качеством инженерного образования и инновационные образовательные технологии: мат-лы междунар. науч.-метод. конф., 28—30 октября 2008 г. — Ч. 2. — Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. — С. 55—57.

3. Кудрявцев, Д. В. Организационное моделирование на основе онтологий: от бизнеса к государству / Д. В. Кудрявцев, Л. П. Григорьев // Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных информационных технологий. Системы управления знаниями: мат-лы X Российской науч.-практ. конф., 17—18 апреля 2007 г., Москва, 2007. — С. 151—156.

4. Learning to map between ontology's on the semantic web / A. Doan [et al.] // Proceedings to the Eleventh International World Wide Web Conference, Honolulu, Hawaii, USA, 2002. — P. 3—9.

5. Do, H. COMA — a system for flexible combination of schema matching approaches / H. Do, E. Rahm // Proceedings of the 28th VLDB Conference, Hong Kong, China, 2002. — P. 2—7.

6. Димитров, В. П. Теоретические и практические аспекты управления процессами в системе менеджмента качества / В. П. Димитров, Л. В. Борисова, Б. Б. Жмайлов. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2009. — 186 с.

7. Тузовский, А. Ф. Онтолого-семантические модели в корпоративных системах управления знаниями: автореф. дис. … д-ра техн. наук / А. Ф. Тузовский. — Томск, 2007. — 39 с.

8. Тузовский, А. Ф. Семантические метаописания объектов в системах управления знаниями / А. Ф. Тузовский, Д. В. Бубнов // Современные средства автоматизации: мат-лы 5-й Науч.-практ. конф., 21—22 октября 2004 г. — Томск: ТУСУР, 2004. — С. 154—159.

9. Тузовский, А. Ф. Построение базы знаний организации с использованием системы онтологий / А. Ф. Тузовский, С. В. Козлов // Интеллектуальные системы (INTLS-2006): мат-лы 7-го Междунар. симпозиума, 26—30 июня 2006 г., Краснодар, 2006. — Москва: Русаки, 2006. — С. 290—294.

10. Java Rules Engine [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://legacy.drools.codehaus.org/Rete# (дата обращения: 01.12.2011).

Материал поступил в редакцию 05.12.2011.

**References**

1. Kondakov, N. I. Logicheskij slovar` / N. I. Kondakov. — Moskva: Nauka, 1971. — 656 s. — In Russian.

2. Karpenko, A. P. Kontrol` ponyatijny`x znanij sub``ekta obucheniya s pomoshh`yu kognitivny`x kart / A. P. Karpenko, N. K. Sokolov // Upravlenie kachestvom inzhenernogo obrazovaniya i innovacionny`e obrazovatel`ny`e texnologii: mat-ly` mezhdunar. nauch.-metod. konf., 28—30 oktyabrya 2008 g. — Ch. 2. — Moskva: MGTU im. N. E`. Baumana, 2008. — S. 55—57. — In Russian.

3. Kudryavcev, D. V. Organizacionnoe modelirovanie na osnove ontologij: ot biznesa k gosudarstvu / D. V. Kudryavcev, L. P. Grigor`ev // Reinzhiniring biznes-processov na osnove sovremenny`x informacionny`x texnologij. Sistemy` upravleniya znaniyami: mat-ly` X Rossijskoj nauch.-prakt. konf., 17—18 aprelya 2007 g., Moskva, 2007. — S. 151—156. — In Russian.

4. Learning to map between ontology's on the semantic web / A. Doan [et al.] // Proceedings to the Eleventh International World Wide Web Conference, Honolulu, Hawaii, USA, 2002. — P. 3—9.

5. Do, H. COMA — a system for flexible combination of schema matching approaches / H. Do, E. Rahm // Proceedings of the 28th VLDB Conference, Hong Kong, China, 2002. — P. 2—7.

6. Dimitrov, V. P. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty` upravleniya processami v sisteme menedzhmenta kachestva / V. P. Dimitrov, L. V. Borisova, B. B. Zhmajlov. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2009. — 186 s. — In Russian.

7. Tuzovskij, A. F. Ontologo-semanticheskie modeli v korporativny`x sistemax upravleniya znaniyami: avtoref. dis. … d-ra texn. nauk / A. F. Tuzovskij. — Tomsk, 2007. — 39 s. — In Russian.

8. Tuzovskij, A. F. Semanticheskie metaopisaniya ob``ektov v sistemax upravleniya znaniyami / A. F. Tuzovskij, D. V. Bubnov // Sovremenny`e sredstva avtomatizacii: mat-ly` 5-j Nauch.-prakt. konf., 21—22 oktyabrya 2004 g. — Tomsk: TUSUR, 2004. — S. 154—159. — In Russian.

9. Tuzovskij, A. F. Postroenie bazy` znanij organizacii s ispol`zovaniem sistemy` ontologij / A. F. Tuzovskij, S. V. Kozlov // Intellektual`ny`e sistemy` (INTLS-2006): mat-ly` 7-go Mezhdunar. simpoziuma, 26—30 iyunya 2006 g., Krasnodar, 2006. — Moskva: Rusaki, 2006. — S. 290—294. — In Russian.

10. Java Rules Engine. Electronic resource. Mode of access: http://legacy.drools.codehaus.org/ Rete# (date of access: 01.12.2011).

## BUILDING TECHNICAL SERVICE ONTOLOGY IN AGROINDUSTRIAL COMPLEX

**V. P. Dimitrov, L. V. Borisova, B. B. Zhmaylov**
(Don State Technical University)

*Knowledge space and basic concepts of the technical service in the agroindustrial complex are determined on the basis of the process-system approach. The taxonomic class hierarchy ontological model using OWL-diagram and the approach to the metadata content generation for its representation are offered. Protégé platform has been used as an instrument.*
***Keywords:*** *ontology, metadata, Protégé, OWL.*

УДК 621.785.51.06

# Оценка электропроводности порошковых углеродных карбюризаторов

**Ю. М. Домбровский, М. С. Степанов, Г. И. Бровер**
(Донской государственный технический университет)

*Рассмотрена возможность проведения процесса цементации металлических изделий в углеродсодержащих порошковых средах при пропускании электрического тока через порошковую среду и изделие. Показано влияние дисперсности порошка кокса на электрическое сопротивление порошковой насыщающей среды.*
***Ключевые слова:*** *цементация металлических изделий, порошковая среда для диффузионного насыщения.*

**Введение.** Одним из наиболее перспективных направлений развития современных процессов химико-термической обработки (ХТО) металлических изделий является диффузионное насыщение в токопроводящих порошковых средах [1]. При изучении данного процесса важна оценка электрических свойств применяемых порошковых материалов, определяющих протекание процессов нагрева, воспламенения, а также диффузионного насыщения, при прохождении электрического тока.

**Постановка задачи исследования.** Наиболее распространённым в производственной практике процессом ХТО является цементация. В этой связи авторами была поставлена задача оценки электрических свойств углеродных порошковых материалов, которые могут быть использованы для проведения процесса цементации.

**Результаты анализа и их обсуждение.** При проведении цементации в твёрдых средах в качестве порошковых карбюризаторов используются различные углеродсодержащие материалы, чаще всего древесный уголь (дубовый или берёзовый) с добавками активаторов: углекислого бария, углекислого натрия, ацетата натрия. Технологически наиболее распространено насыщение в герметизируемых контейнерах с использованием печного нагрева [2, 3]. В результате взаимодействия карбюризатора с кислородом воздуха, находящегося в контейнере, образуется оксид углерода CO (а не диоксид $CO_2$ из-за недостатка кислорода), который при температуре цементации неустойчив и распадается на атомарный углерод и $CO_2$.

Атомарный углерод диффундирует в насыщаемый металл, а диоксид углерода взаимодействует с карбюризатором с образованием оксида, обеспечивая таким образом непрерывность процесса науглероживания.

Установлено, что если насыщение производится из активной газовой среды, то непосредственный контакт карбюризатора с деталью не обязателен и диффузионный слой образуется и на тех деталях, которые не контактируют с карбюризатором.

Чаще всего электрические свойства порошковых углеродных материалов рассматриваются в литературе, посвящённой изготовлению углеродных порошковых изделий, например электродов. Установлено [4], что при увеличении температуры материала до 700 °C вследствие изменения степени упорядоченности структуры наблюдается значительное возрастание его электропроводности, а при дальнейшем нагреве она изменяется в меньшей степени.

Следует отметить, что электрическое сопротивление отдельных частиц углеродных материалов зависит только от их химического состава и структуры, в то время как сопротивление порошковой среды зависит также от межзёренного сопротивления. Кроме того, для углеродных порошковых материалов характерно сопротивление, связанное с длиной токоведущего пути внутри самой порошковой среды. В любой точке существует множество эквивалентных путей движения тока, и электрическое сопротивление зависит от положения данной точки в порошковой среде, параметров уплотнения порошка и электрического сопротивления самого порошкового материа-

ла. Значительный вклад в суммарное сопротивление порошковых углеродных материалов вносит контактное сопротивление частиц порошка [4, 5]. В общем случае контактное сопротивление определяется точечным характером соприкосновения частиц (рис. 1) и не зависит от их формы.

При точечном контакте двух частиц линии тока, идущие вначале параллельно, начинают стягиваться при приближении к точке контакта. Эффективное сечение уменьшается, и сопротивление увеличивается. Это сопротивление представляет собой сопротивление стягивания.

Реально в точке соприкосновения контакт осуществляется через маленькую плоскую площадку. Установлено [5], что при поперечном размере площадки $\sqrt{S}$ , где $S$ — площадь поверхности площадки, сопротивление стягивания равно:

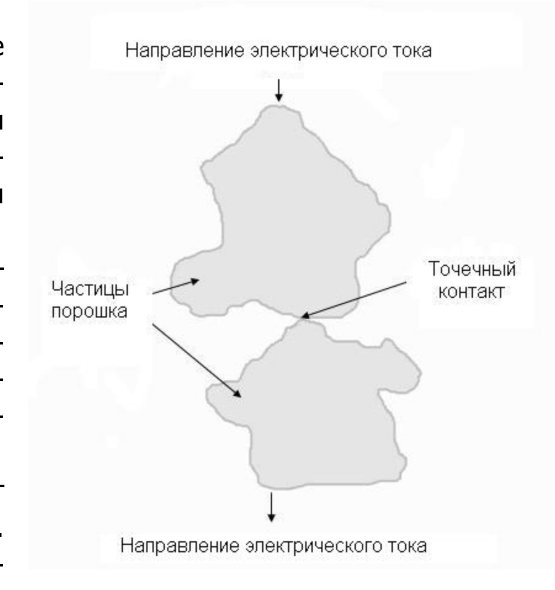



Рис. 1. Точечный контакт углеродных частиц

$$R_{CT} = \frac{\rho\sqrt{\pi}}{4\sqrt{S}}, \quad (1)$$

где ρ — удельное сопротивление материала контактирующих элементов.

При перетекании через поверхность $S$ в другой элемент электрический ток начинает растекаться от точки контакта. Это сопротивление представляет собой сопротивление растеканию и имеет то же значение, что и сопротивление стягиванию:

$$R_{раст} = R_{ст}. \quad (2)$$

Эти два сопротивления складываются последовательно, и, таким образом, сопротивление контакта с площадью соприкосновения $S$ при одинаковых материалах контактирующих элементов равно:

$$R_{сум} = 0{,}886\ \rho/\sqrt{S}\ . \quad (3)$$

Таким образом, очевидно, что величина частиц порошка является важнейшим фактором, определяющим суммарное сопротивление всей порошковой среды.

Если рассматривать контактное сопротивление токопроводящих порошков, подвергнутых прессованию, то следует учитывать, что их контактное сопротивление зависит не только от морфологии самих углеродных частиц (размера, формы), но и от давления их прессования [4]. Прикладываемое давление прессования способствует улучшению контакта между частицами и уменьшает длину пути электрического тока через порошковую массу. Обычно измеряемое сопротивление спрессованного порошка с ростом давления приближается к сопротивлению компактного материала. Такой эффект от давления прессования наиболее заметен для мелкодисперсных углеродных порошков.

Существенное влияние на электрическое сопротивление порошковых углеродных материалов оказывает наличие на частицах порошка поверхностного кислорода [4]. Это связано с тем, что кислородсодержащие функциональные группы, образующиеся на их поверхности, повышают энергетический барьер, который нужно преодолеть электронам при переходе от одной частицы к другой. Поэтому повышение электрического сопротивления может быть вызвано либо увеличением содержания таких поверхностных групп, например с помощью выдержки углеродного порошка в кислородсодержащей атмосфере, либо ростом числа межчастичных контактов в связи с измельчением частиц. Обратный процесс удаления таких кислородсодержащих групп путём нагрева ма-

териала в инертной атмосфере при температуре около 1000 °C способствует снижению сопротивления углеродных порошков.

Важным фактором в формировании суммарного сопротивления является контакт углеродной порошковой среды и металлического электрода. Порошковый материал контактирует с металлическим электродом только в тех точках, где к электроду прилегают частицы порошка. В этом случае электрическое сопротивление зависит от площади контакта, а также электрических свойств порошка и металлического электрода. Указанное электросопротивление определяет динамику электронагрева при ХТО в порошковой среде, когда роль электрода выполняет обрабатываемая деталь.

Рассмотрим возможность осуществления процесса цементации в порошковой токопроводящей насыщающей среде. Наиболее распространёнными углеродсодержащими материалами являются: графит, древесный уголь, каменный уголь, кокс. Для исследования предпочтение было отдано каменноугольному коксу, учитывая наличие высокой теплотворной способности и малого газовыделения при горении этого углеродного материала.

Кокс представляет собой твёрдый пористый продукт серого цвета, получаемый коксованием каменного угля [6]. Содержит 96—98 % углерода, имеет пористость 49—53 %. Физико-химические свойства кокса определяются его структурой, приближающейся к гексагональной слоистой структуре графита. Структура кокса характеризуется неполной упорядоченностью: отдельные фрагменты (слои), связанные вандерваальсовыми силами, статистически занимают несколько возможных положений (например, накладываются один на другой). Наряду с атомами углерода в пространственной решётке кокса, особенно в её периферийной части, могут располагаться гетероатомы (S, N, O). Строение и свойства кокса зависят от состава угольной шихты, конечной температуры и скорости нагрева коксуемой массы.

При изучении свойств кокса как твёрдого горючего углеродного материала различают три группы параметров: механические (плотность, кажущаяся плотность, действительная плотность и др.), тепловые (удельная теплоёмкость, коэффициенты тепло- и температуропроводности, теплоту сгорания, плавления, сублимации и испарения), а также электрические (удельная электрическая проводимость).

Электрические свойства кокса изучались многими исследователями. Это объясняется тем обстоятельством, что электрическое сопротивление кокса зависит от температуры нагрева, и, следовательно, от глубины структурных изменений его органических соединений. Отсюда вытекает возможность использования величины удельного электрического сопротивления кокса для характеристики степени его готовности [6] в коксовых колоннах. Например, в работе [7] отмечали, что зависимость удельного электрического сопротивления коксовой среды от размера кусков кокса имеет гиперболический характер. Кроме того, установлено, что при повышении электрического напряжения до 50—60 В переходные сопротивления (контакты между кусками кокса, рис. 1) начинают искрить и возникает явление массового появления микроэлектродуг. Результаты таких исследований иногда используются для получения информации о свойствах шихтовых материалов и контроля качества металлургических процессов, протекающих в доменных печах.

В то же время следует отметить, что средний размер кусков кокса, применяющихся в металлургическом производстве и считающихся оптимальными, составляет 25 мм, а размеры 10 мм и менее считаются отходами. Очевидно, что имеющиеся результаты исследований неприменимы для оценки свойств порошкового кокса, который может использоваться для проведения процесса науглероживания.

Учитывая это обстоятельство, нами было предпринято экспериментальное исследование зависимости удельного электрического сопротивления порошка кокса от размера его частиц.

Предельный размер частиц был выбран исходя из целесообразности его использования при проведении процесса диффузионного науглероживания.

Для проведения эксперимента использовался каменноугольный кокс, размолотый и рассеянный на фракции 0,1 мм; 0,16 мм; 0,2 мм; 0,315 мм; 0,4 мм; 0,5 мм; 0,63 мм. Далее порошок кокса различных фракций засыпался в канавки шириной 5 мм и длиной 100 мм, вырезанные в листе электротехнического текстолита марки А по ГОСТ 2910-74. Глубина канавок составляла от 1,25 мм до 6,5 мм. Контактные электроды представляли собой отрезки медной проволоки длиной 30 мм и диаметром 3 мм, закреплённые в отверстиях, просверлённых по краям канавок. Расстояние между центрами электродов составляло 95 мм. После засыпания порошка кокса измерялось электрическое сопротивление между электродами с использованием цифрового мультиметра APPA-305. Определение удельного электрического сопротивления производилось с использованием известной зависимости:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (4)$$

где $R$ — электрическое сопротивление; ρ — удельное электрическое сопротивление; $l$ — длина проводника; $S$ — поперечное сечение.

Полученные результаты представлены на графике (рис. 2).

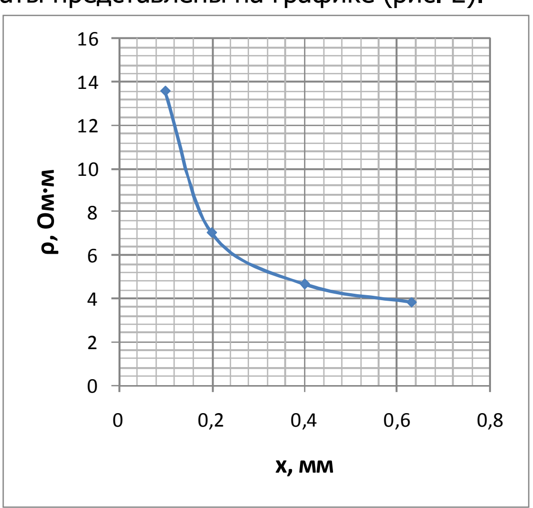



Рис. 2. Зависимость удельного электрического сопротивления ρ порошка кокса от размера $x$ его частиц

**Выводы.** 1. Экспериментально получена зависимость удельного электрического сопротивления порошкообразного кокса от размера частиц порошка.

2. Наблюдаемое резкое возрастание электрического сопротивления кокса при размерах частиц менее 0,4 мм находит объяснение в существенном вкладе межчастичного переходного сопротивления в связи с измельчением частиц порошка и, соответственно, увеличением числа контактов.

3. Полученная зависимость электрического сопротивления кокса от размера частиц его порошка может быть использована при выборе источника питания для порошковой цементации с пропусканием электрического тока в цепи: источник — токопроводящий контейнер — порошок кокса — цементуемое изделие.

**Библиографический список**

1. Ворошнин, Л. Г. Теория и технология химико-термической обработки / Л. Г. Ворошнин, О. Л. Менделеева, В. А. Смёткин. — Москва: Новое знание, 2010. — 304 с.

2. Борисёнок, Г. В. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / Г. В. Борисёнок, Л. А. Васильев, Л. Г. Ворошнин. — Москва: Металлургия, 1981. — 424 с.

3. Лахтин, Ю. М. Химико-термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин, Б. Н. Арзамасов. — Москва: Металлургия, 1985. — 256 с.

4. Шорникова, О. Н. Связующие для полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / О. Н. Шорникова, Н. В. Максимова, В. В. Авдеев. — Москва: МГУ, 2010. — 52 с.

5. Горюнов, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие / В. А. Горюнов, С. М. Коробейников, С. В. Нестеров. — Новосибирск: НГТУ, 2009. — 96 с.

6. Глущенко, И. М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых: учебник для вузов / И. М. Глущенко. — Москва: Металлургия, 1990. — 296 с.

7. Патент РФ № 2396498. Устройство для высокотемпературной обработки углеродистых материалов (электрокальцинатор) / Ю. Ф. Фролов, В. А. Лебедев. Кл. 6 F27B 1/09. Опубл. 2010.08.10.

8. Михин, Р. В. Разработка теоретических основ поведения шихтовых материалов доменной плавки для информационного обеспечения математической модели загрузки доменной печи: автореф. дис. … канд. техн. наук / Р. В. Михин. — Москва: МИСиС, 2010. — 16 с.

Материал поступил в редакцию 23.12.2011.

**References**

1. Voroshnin, L. G. Teoriya i texnologiya ximiko-termicheskoj obrabotki / L. G. Voroshnin, O. L. Mendeleeva, V. A. Smyotkin. — Moskva: Novoe znanie, 2010. — 304 s. — In Russian.

2. Borisyonok, G. V. Ximiko-termicheskaya obrabotka metallov i splavov / G. V. Borisyonok, L. A. Vasil`ev, L. G. Voroshnin. — Moskva: Metallurgiya, 1981. — 424 s. — In Russian.

3. Laxtin, Yu. M. Ximiko-termicheskaya obrabotka metallov / Yu. M. Laxtin, B. N. Arzamasov. — Moskva: Metallurgiya, 1985. — 256 s. — In Russian.

4. Shornikova, O. N. Svyazuyushhie dlya polimerny`x kompozicionny`x materialov: ucheb. posobie / O. N. Shornikova, N. V. Maksimova, V. V. Avdeev. — Moskva: MGU, 2010. — 52 s. — In Russian.

5. Goryunov, V. A. Materialovedenie. Texnologiya konstrukcionny`x materialov: ucheb. posobie / V. A. Goryunov, S. M. Korobejnikov, S. V. Nesterov. — Novosibirsk: NGTU, 2009. — 96 s. — In Russian.

6. Glushhenko, I. M. Teoreticheskie osnovy` texnologii goryuchix iskopaemy`x: uchebnik dlya vuzov / I. M. Glushhenko. — Moskva: Metallurgiya, 1990. — 296 s. — In Russian.

7. Patent RF # 2396498. Ustrojstvo dlya vy`sokotemperaturnoj obrabotki uglerodisty`x materialov (e`lektrokal`cinator) / Yu. F. Frolov, V. A. Lebedev. Kl. 6 F27B 1/09. Opubl. 2010.08.10. — In Russian.

8. Mixin, R. V. Razrabotka teoreticheskix osnov povedeniya shixtovy`x materialov domennoj plavki dlya informacionnogo obespecheniya matematicheskoj modeli zagruzki domennoj pechi: avtoref. dis. … kand. texn. nauk / R. V. Mixin. — Moskva: MISiS, 2010. — 16 s. — In Russian.

## EVALUATION OF ELECTRIC CONDUCTIVITY OF CARBON POWDER CARBURIZERS

**Y. M. Dombrovskiy, M. S. Stepanov, G. I. Brover**
(Don State Technical University)

*The probability of metal ware carburizing in the carbon-wearing powdered media under passing current through the powdered environment and the workpiece is considered. The effect of the powered coke dispersibility on the electrical resistance of the powder saturating medium is shown.*
***Keywords:*** *metal ware carburizing, powdered environment for diffusion.*

УДК 621.9

# Синергетическая концепция при построении систем управления точностью изготовления деталей сложной геометрической формы

**В. Л. Заковоротный**
(Донской государственный технический университет),
**М. Б. Флек**
(ОАО «Роствертол»),
**Фам Динь Тунг**
(Донской государственный технический университет)

*Приводятся результаты математического моделирования, методики и построения программ ЧПУ для обработки деталей сложной геометрической формы в условиях ОАО «Роствертол».*
***Ключевые слова:*** *синергетическая концепция, качество изготовления, динамика, управление процессами обработки на станках.*

**Введение.** Для авиационной промышленности характерно изготовление изделий, обладающих малой и изменяющейся жёсткостью по координатам перемещения инструмента относительно заготовки, а также деталей сложной геометрии, при обработке которых меняется направление формообразующих движений. При обработке таких деталей приходится считаться с тем, что траектории движения исполнительных элементов станка, программируемых в управляющей ЭВМ, отличаются от траекторий формообразующих движений инструмента относительно заготовки, по крайней мере, на величину упругих деформационных смещений вершины инструмента относительно точки его закрепления в исполнительном элементе. Динамические структуры металлорежущих станков вместе с процессом обработки обладают следующими свойствами [1]:

– Они являются диссипативными. Поэтому в пространстве состояния множеству $U(X)$ соответствует множество траекторий формообразующих движений, которое является притягивающим, то есть соответствующие траектории формообразующих движений являются аттракторами.

– Как правило, с учётом физической реализуемости, можно выбрать такой вектор управления, формируемый в координатах исполнительных перемещений станка, которому соответствует асимптотически устойчивая траектория формообразующих движений, которая обеспечивает требуемые показатели геометрического качества обработки.

Для согласования программы ЧПУ, траекторий исполнительных элементов и траекторий формообразующих движений инструмента относительно заготовки, в случае, если обеспечиваются требуемые показатели геометрического качества изделий, возможно два подхода. Первый, широко используемый в настоящее время, основан на принципах подчинения всех координат программе ЧПУ. Второй основан на развиваемой в настоящее время синергетической теории управления и на определении $U(X)$ таким образом, что в управлении используются естественные динамические свойства системы, в том числе и связи, формируемой процессом резания. При этом траектории формообразующих движений, обеспечивающие необходимое геометрическое качество, формируются естественным образом в данной динамической структуре и являются аттракторами системы [1, 2]. Второй подход, основанный на использовании всех дополнительных связей, рассматриваемых в парадигме расширения пространства состояния, применяемой в синергетической концепции управления, позволяет фактически включить в управление все естественно существующие связи.

Пусть определено многообразие траекторий $\aleph_Z \in Z$, обеспечивающих требуемые показатели геометрического качества обработки. Ему соответствует многообразие траекторий исполнительных элементов $\aleph_X \in X$, и далее программ ЧПУ $\aleph_U \in U$, то есть векторов управления $U(X)$. Если учитывать естественно существующие в динамической структуре связи и закономерности их изменения вдоль траектории движения исполнительных элементов, то именно на многообразии $\aleph_U$ должна строиться программа ЧПУ. Таким образом, для определения многообразия $\aleph_U$ необходимо решать обратные задачи динамики для уравнений, связывающих пространства *X*, *Z* и *U*.

**Алгоритм определения траекторий формообразующих движений.** В статье ограничимся случаем токарной обработки. Случаи фрезерования концевыми фрезами, рассверливания, обработки отверстий многолезвийными инструментами подробно рассмотрены в монографиях [1—3]. Будем полагать заданными траектории исполнительных элементов, т. е. $\{X_i(X_3), dX_i(X_3)/dt\}$, $i = 1, 2, 3, 4$. Их можно представить в функции времени, т. е. $\{X_i(t), V_i(t)\}$, где $V_i(t) = dX_i(t)/dt$. Каждой точке вектора *X* соответствует пара векторов упругих деформаций инструмента $x = \{x_1, x_2, x_3\}^T$ и заготовки $y = \{y_1, y_2, y_3\}^T$. Координаты *X* отсчитываются от центра вращения заготовки, находящегося на правом её конце (рис. 1). Упругие деформации $x = \{x_1, x_2, x_3\}^T$, $y = \{y_1, y_2, y_3\}^T$ отсчитываются по направлению, противоположному телу заготовки (рис. 1). Таким образом, координаты формообразующих движений, определяющие геометрию детали, складываются из координат исполнительных элементов станка и упругих деформаций. Например, текущее значение радиуса $r^{(i)}$ в точке $X_3^{(i)}$, определяющее значение диаметра $D^{(i)}$, равно

$$r^{(i)}\left(X_3^{(i)}\right) = z_1(X_3) = X_1\left(X_3^{(i)}\right) + x_1\left(X_3^{(i)}\right) + y_1\left(X_3^{(i)}\right). \quad (1)$$

Тогда точка $z_1(X_3)$ — координата формообразующих движений, а точка $X_1(X_3)$ — точка координат исполнительных элементов станка. Имеет также место упругое смещение точки контакта инструмента и заготовки по отношению к координате $X_3^{(i)}$ на величину $x_3\left(X_3^{(i)}\right) + y_3\left(X_3^{(i)}\right)$.

Выясним закономерности формирования упругих деформаций при заданных траекториях $\{X_i(t), V_i(t)\}$. Упругие же деформации прежде всего зависят от сил. Силы резания при обработке на металлорежущих станках формируются в результате пересечения тела режущего инструмента с заготовкой с учётом деформаций *x*, *y* (рис. 2). Уровень моделирования сил резания $F = \{F_1, F_2, F_3\}^T$ в координатах состояния может быть различным. Для того чтобы выяснить основные закономерности преобразования траекторий, будем анализировать медленные формообразующие движения, то есть полагать, что процесс резания по координатам упругих деформаций инструмента относительно заготовки является устойчивым и в пределах импульсной реакции подсистемы инструмента и заготовки система является замороженной. Более точные обоснования иерархии систем дифференциальных уравнений динамики даны в монографии [1].

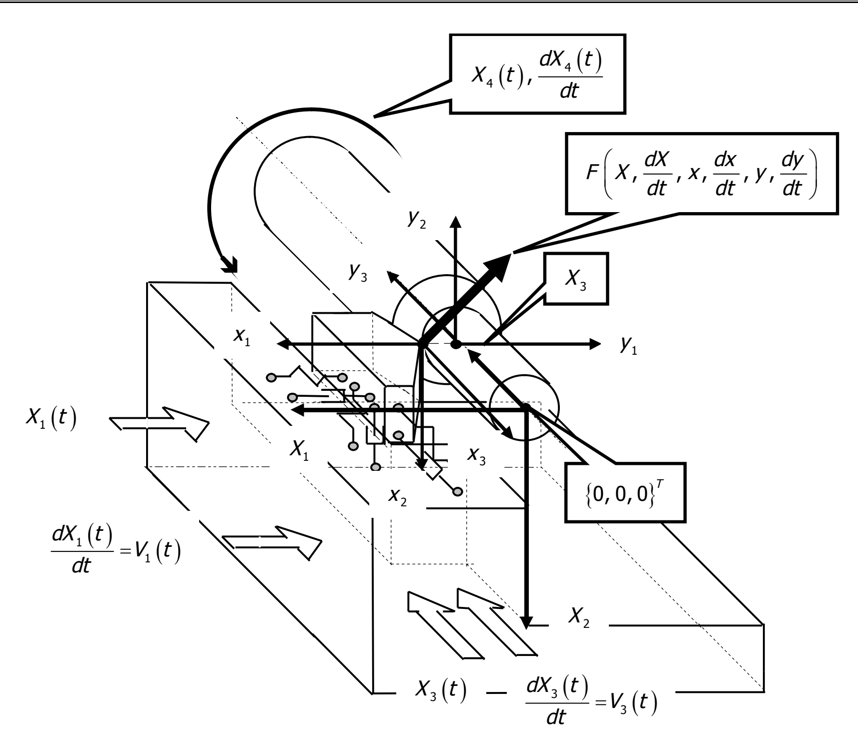



Рис. 1. Система координат, определяющая состояние управляемой динамической системы точения без учёта электромеханического преобразователя

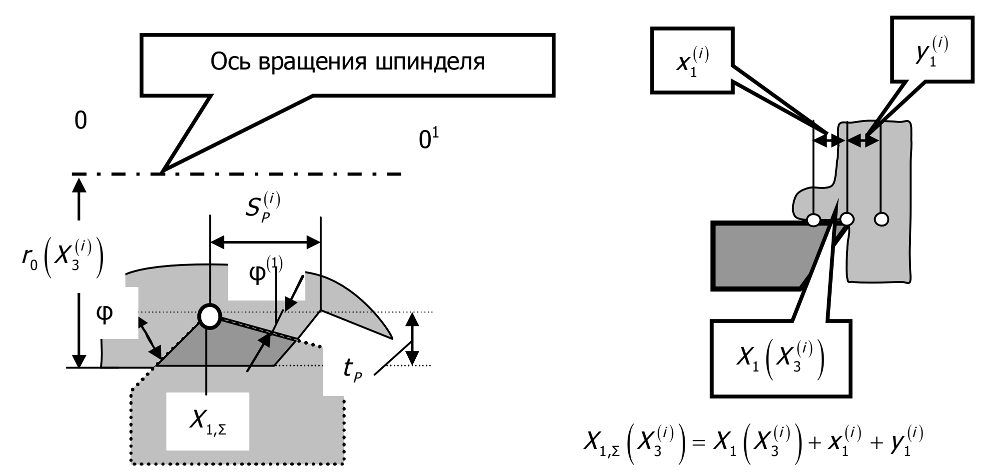



Рис. 2. Схема формирования площади срезаемого слоя и координаты формообразующих движений по направлению $X_1$ с учётом упругих деформаций

Тогда при формировании сил резания $F = \{F_1, F_2, F_3\}^T$ можно принять следующие гипотезы (рис. 2) [1]:

— модуль сил пропорционален площади срезаемого слоя $S$, т. е.

$$F_0 = \rho(V_4)S; \tag{2}$$

— справедлива гипотеза неизменной ориентации сил в пространстве, т. е.

$$F = \{F_1, F_2, F_3\}^T = F_0\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3\}^T, \tag{3}$$

где $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3\}^T$ — вектор угловых коэффициентов. Заметим, что коэффициент ρ, имеющий смысл давления на переднюю поверхность инструмента, также зависит от износа инструмента.

Таким образом, силы при неизменных условиях определяются величиной подачи на оборот $S_P(t)$ и глубиной резания $t_P(t)$ (рис. 2)

$$S(t) = S_P(t)t_P(t) - \zeta S_P^2(t), \quad (4)$$

где $\zeta = \frac{1}{2}\frac{\text{tg}\varphi\text{tg}\varphi^{(1)}}{\text{tg}\varphi + \text{tg}\varphi^{(1)}}$; $S_P(t) = \int\limits_{t-T}^{t}\left[V_3(t) - v_{x_3}(t) - v_{y_3}(t)\right]dt$ — путь, пройденный вершиной инструмента за время одного оборота $T$ с учётом скорости упругих деформаций в направлении $X_3\left(v_{x_3}, v_{y_3}\right)$.

Заметим, что в (4) предполагается движение инструмента вдоль обрабатываемой детали. При его движении по направлению оси вращения заготовки необходимо учитывать срезание материала на предыдущем обороте. Тогда на временном отрезке движений инструмента в сторону оси вращения детали величина глубины резания фактически определяется величиной подачи, то есть определяется по зависимости $S_P(t) = \int\limits_{t-T}^{t}\left[V_3(t) - v_{x_3}(t) - v_{y_3}(t)\right]dt$. При движении инструмента вдоль оси вращения заготовки (это наиболее типичный случай для токарной обработки) силы, формируемые процессом резания, определяются следующими интегральными преобразованиями:

$$F_0(t) = \rho\left\{\left[\int\limits_{t-T}^{t}\left(V_3(t) - v_{x_3}(t) - v_{y_3}(t)\right)dt\right]\cdot\left[r_0(t) - \int\limits_0^t V_1(t)dt - x_1(t) - y_1(t)\right] - \right.$$
$$\left. -\zeta\left[\int\limits_{t-T}^{t}\left(V_3(t) - v_{x_3}(t) - v_{y_3}(t)\right)dt\right]^2\right\}. \quad (5)$$

Причём знак скорости упругих деформаций $v_{x_3}$, $v_{y_3}$ зависит от знака $dF_0/dt$. Заметим, что $r_0(X_3) - \int\limits_0^t V_1(t)dt - x_1(t) - y_1(t) \geq 0$, в противном случае контакт инструмента с заготовкой отсутствует и процесса резания нет.

Введём в рассмотрение матрицы жёсткости подсистемы инструмента $c^{(X)}(X_3) = \left[c_{s,k,x}\right]$, $s, k = 1, 2, 3$ и заготовки $c^{(Y)} = \left[c_{s,k,y}\right]$, $s, k = 1, 2, 3$. Во многих случаях бывает справедливым $c^{(X)}(X_3) = \text{const}$. Пренебрегая в (5) квадратичными формами относительно малых упругих деформаций, а также учитывая, что $\zeta$ есть величина малая, получаем линеаризованное выражение для определения связи траекторий исполнительных элементов с траекториями упругих деформаций инструмента относительно заготовки:

$$\begin{cases} c_{1,1,x}x_1 + c_{2,1,x}x_2 + c_{3,1,x}x_3 = \lambda_1\rho\left[t_P\int\limits_{t-T}^{t}V_3(t)dt - t_P\int\limits_{t-T}^{t}v_3(t)dt - \int\limits_{\zeta=t-T}^{t}\int\limits_{\xi=0}^{t}V_3(\zeta)v_1(\xi)d\xi d\zeta\right]; \\ c_{1,2,x}x_1 + c_{2,2,x}x_2 + c_{3,2,x}x_3 = \lambda_2\rho\left[t_P\int\limits_{t-T}^{t}V_3(t)dt - t_P\int\limits_{t-T}^{t}v_3(t)dt - \int\limits_{\zeta=t-T}^{t}\int\limits_{\xi=0}^{t}V_3(\zeta)v_1(\xi)d\xi d\zeta\right]; \\ c_{1,3,x}x_1 + c_{2,3,x}x_2 + c_{3,3,x}x_3 = \lambda_3\rho\left[t_P\int\limits_{t-T}^{t}V_3(t)dt - t_P\int\limits_{t-T}^{t}v_3(t)dt - \int\limits_{\zeta=t-T}^{t}\int\limits_{\xi=0}^{t}V_3(\zeta)v_1(\xi)d\xi d\zeta\right]; \\ c_{1,1,y}y_1 + c_{2,1,y}y_2 + c_{3,1,y}y_3 = \lambda_1\rho\left[t_P\int\limits_{t-T}^{t}V_3(t)dt - t_P\int\limits_{t-T}^{t}v_3(t)dt - \int\limits_{\zeta=t-T}^{t}\int\limits_{\xi=0}^{t}V_3(\zeta)v_1(\xi)d\xi d\zeta\right]; \\ c_{1,2,y}y_1 + c_{2,2,y}y_2 + c_{3,2,y}y_3 = \lambda_2\rho\left[t_P\int\limits_{t-T}^{t}V_3(t)dt - t_P\int\limits_{t-T}^{t}v_3(t)dt - \int\limits_{\zeta=t-T}^{t}\int\limits_{\xi=0}^{t}V_3(\zeta)v_1(\xi)d\xi d\zeta\right]; \\ c_{1,3,y}y_1 + c_{2,3,y}y_2 + c_{3,3,y}y_3 = \lambda_3\rho\left[t_P\int\limits_{t-T}^{t}V_3(t)dt - t_P\int\limits_{t-T}^{t}v_3(t)dt - \int\limits_{\zeta=t-T}^{t}\int\limits_{\xi=0}^{t}V_3(\zeta)v_1(\xi)d\xi d\zeta\right], \end{cases} \qquad (6)$$

где $v_1 = \dfrac{d(y_1 + x_1)}{dt}$; $v_3 = \dfrac{d(y_3 + x_3)}{dt}$. В (6) полагается, что величина припуска $t_P = \text{const}$.

В частности, если скорость $V_3$ можно считать постоянной (усреднённой) в пределах оборота заготовки и величину припуска в пределах оборота также $t_P = \text{const}$, то для вычисления упругих деформаций $x$ и $y$ на каждом обороте из (6) получаем

$$c_\Sigma x^{(x,y)} = F, \qquad (7)$$

где

$$c_\Sigma = \begin{bmatrix} c_{1,1.x} + \lambda_1\rho S_P & c_{2,1,x} & c_{3,1,x} + \lambda_1\rho t_P & \lambda_1\rho S_P & 0 & \lambda_1\rho t_P \\ c_{1,2,x} + \lambda_2\rho S_P & c_{2,2,x} & c_{3,2,x} + \lambda_2\rho t_P & \lambda_2\rho S_P & 0 & \lambda_2\rho t_P \\ c_{1,3,x} + \lambda_3\rho S_P & c_{2,3,x} & c_{3,3,x} + \lambda_3\rho t_P & \lambda_3\rho S_P & 0 & \lambda_3\rho t_P \\ \lambda_1\rho S_P & 0 & \lambda_1\rho t_P & c_{1,1,y} + \lambda_1\rho S_P & c_{2,1,y} & c_{3,1,y} + \lambda_1\rho t_P \\ \lambda_2\rho S_P & 0 & \lambda_2\rho t_P & c_{1,1,y} + \lambda_2\rho S_P & c_{2,2,y} & c_{3,2,y} + \lambda_2\rho t_P \\ \lambda_3\rho S_P & 0 & \lambda_3\rho t_P & c_{1,1,y} + \lambda_3\rho S_P & c_{2,3,y} & c_{3,3,y} + \lambda_3\rho t_P \end{bmatrix};$$

$$x^{(x,y)} = \{x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3\}^T;$$

$$F = \begin{pmatrix} \rho\lambda_1\left[t_P S_P + t_P x_3(t-T) + t_P y_3(t-T)\right] \\ \rho\lambda_2\left[t_P S_P + t_P x_3(t-T) + t_P y_3(t-T)\right] \\ \rho\lambda_3\left[t_P S_P + t_P x_3(t-T) + t_P y_3(t-T)\right] \\ \rho\lambda_1\left[t_P S_P + t_P x_3(t-T) + t_P y_3(t-T)\right] \\ \rho\lambda_2\left[t_P S_P + t_P x_3(t-T) + t_P y_3(t-T)\right] \\ \rho\lambda_3\left[t_P S_P + t_P x_3(t-T) + t_P y_3(t-T)\right] \end{pmatrix}.$$

Вектор $F$ кроме технологических режимов включает заданные функции $x_i(t-T)$ и $y_i(t-T)$, которые определяются на отрезке $(0, t-T)$ при определении деформаций в момент $t$. Если вычисление деформаций осуществляется в пространстве состояния по координате $X_3$ от оборота заготовки к обороту, то $x_i(t-T)$ и $y_i(t-T)$ равны значениям упругих деформаций на предыдущем обороте. Таким образом, суммарная матрица жёсткости, имеющая размерность

$6 \times 6$, складывается из матриц жёсткости инструмента, заготовки и коэффициентов, зависящих от технологических параметров, а также параметров процесса резания (определяются обобщённым коэффициентом ρ).

Кроме этого, будем считать направляющие станка идеальными, т. е. не вносящими искажений в траектории формообразующих движений. Принципиально кинематические возмущения со стороны направляющих можно учесть, если задана их статистика. Тогда для обеспечения, например, неизменности диаметра необходимо выполнить условие

$$X_1 - (x_1 + y_1) = \text{const}, \tag{8}$$

которое можно выполнить на основе решения обратной задачи динамики из (7) различным подбором $X_1(X_3)$ и $S_P(X_3)$. Условие (8) фактически определяет один из инвариантов функционирования станка в синергетической теории управления [4]. Кроме этого, $t_P$ и $S_P$ в (7) есть параметры управления. Подчеркнём, что траектории исполнительных элементов через изменения параметров управления смещают траекторию формообразующих движений. В общем случае перестраивают динамическую систему резания.

Связанная между собой совокупность $X_1(X_3)$, $S_P(X_3)$, изменяющаяся по координатам перемещения суппорта вдоль оси вращения заготовки, после элементарных преобразований даёт совокупность траекторий исполнительных элементов, обеспечивающих требуемое в данном случае условие (8). Эти траектории и формируют многообразие $\aleph_X \in X$ траекторий исполнительных элементов станка, обеспечивающее условие (8), т. е. неизменность диаметра — одна из целей процесса резания.

Приведённые условия легко обобщаются на случай, когда деталь имеет сложную геометрическую форму. Здесь ограничимся случаем, когда геометрия детали допускает кусочно-линейную аппроксимацию (линейная интерполяция) и выделим на детали отдельный фрагмент (рис. 3). На этом фрагменте обработка ведётся с одновременным изменением скоростей продольной и поперечной подачи (в данном случае обрабатывается элементарный конус). При анализе траекторий в пределах *i*-го оборота частоту $\omega_4$ будем считать неизменной, т. е. $T^{(i)} = 1/\omega_4^{(i)}$. Если заданы скорости $V_1(t)$, $V_3(t)$ и их вектор ориентирован по направлению образующей, то величина подачи на *i*-м обороте будет равна

$$S_P^{(i)} = \int_{t-T^{(i)}}^{t} \left\{ \left[V_1(t)\right]^2 + \left[V_3(t)\right]^2 \right\}^{0,5} dt. \tag{9}$$

Причём при линейной интерполяции для обеспечения движений по образующей $M - N$ (рис. 3) должно выполняться требование $V_3(t)/V_1(t) = k^{(M,N)} = \text{const}$, если упругие деформации отсутствуют, то многообразие траекторий частот вращения двигателей исполнительных элементов станка $\{\omega_1(X_3), \omega_3(X_3), \omega_4(X_3)\}^T$, обеспечивающих движение по желаемой образующей «$M - N$», определяется соотношениями:

$$\begin{cases} V_P(X_3) = 2\pi\omega_4 r\left(X_3^{(k)}\right); \\ \omega_1 = k^{(M,N)}\omega_3, \end{cases} \tag{10}$$

где $V_P$ — скорость резания, $\omega_1$, $\omega_3$ — частоты вращения двигателей поперечной и продольной подач.

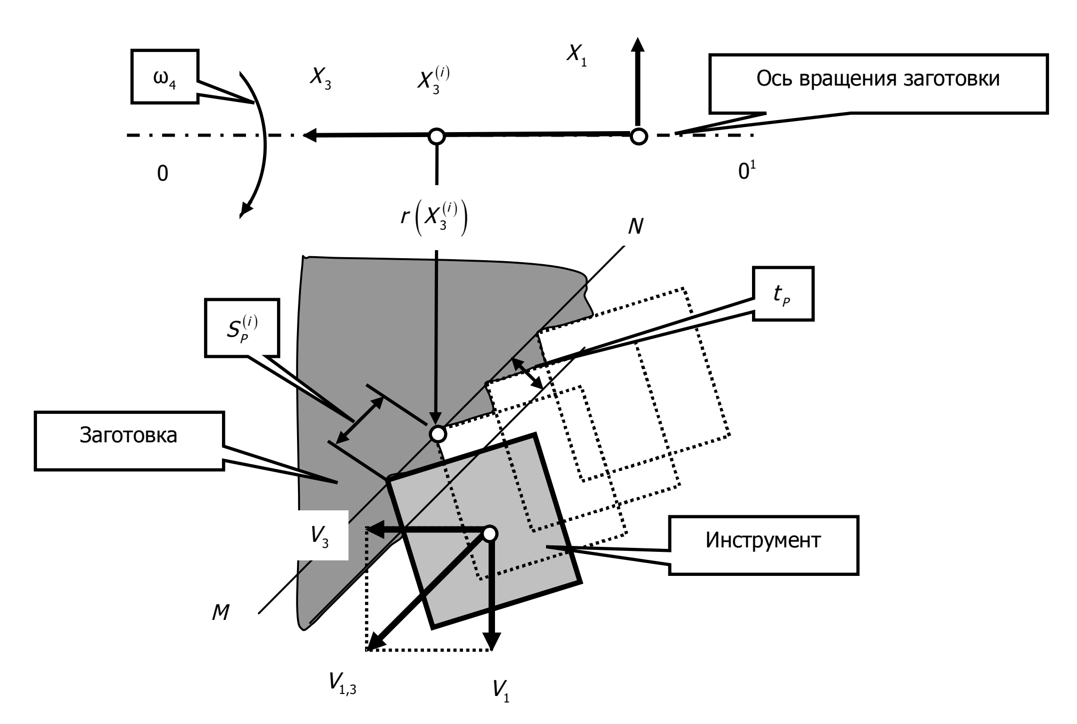



Рис. 3. Схема формирования формообразующих движений при точении детали сложной геометрической формы

Если $V_P$ постоянна и соответствует традиционно определяемой оптимальной скорости резания, то частота вращения шпинделя есть функция радиуса, т. е. координаты $X_3$; коэффициент $k^{(M,N)}$ определяется углом наклона образующей $M-N$ (см. рис. 3). Упругие деформации инструмента в направлениях $X_1$ и $X_3$ искажают реальную образующую (рис. 4). Если упругие деформации отсутствуют, то в процессе управления приводами за счёт асимметрии динамических характеристик приводов может нарушаться одно из условий (10), что не только вызывает отклонение реальной траектории относительно образующей $M-N$, но и приводит к дополнительным возмущениям.

Для выяснения механизмов отклонения траекторий введём в рассмотрение вектор скоростей $V^{(MN)}=\left\{V_1^{(MN)}(X_3),V_3^{(MN)}(X_3)\right\}^T$, отличающийся от $V=\left\{V_1(X_3),V_3(X_3)\right\}^T$ матрицей перехода, зависящей от угла $\varphi^{(MN)}$, определяемого углом между осью вращения заготовки $O,O^1$ и образующей $MN$ (рис. 4). Связь между скоростями определяется геометрическими соотношениями

$$V^{(MN)}(X_3)=\varphi V(X_3), \tag{11}$$

где $\varphi=\begin{bmatrix}\sin\varphi_{MN} & \cos\varphi_{MN}\\ -\cos\varphi_{MN} & \sin\varphi_{MN}\end{bmatrix}$.

Если $V_3(X_3)\sin\varphi_{MN}=V_1(X_3)\cos\varphi_{MN}$, то суппорт движется по прямой $M-N$. Тогда формирование сил резания соответствует ранее проанализированному случаю, но вместо скорости $V_3(X_3)$ необходимо рассматривать скорость $V_3^{(MN)}=V_1(X_3)\sin\varphi_{MN}+V_3(X_3)\cos\varphi_{MN}$ и учитывать изменение угловых коэффициентов ориентации сил резания. Очевидно, что условию $V_3(X_3)\sin\varphi_{MN}=V_1(X_3)\cos\varphi_{MN}$ соответствует выполнение второго соотношения в (10). Тогда для вычисления упругих деформаций для подсистемы инструмента (обрабатывается жёсткая деталь) можно воспользоваться соотношениями

$$c^{(MN)}x^{(MN)} = F, \tag{12}$$

где $c^{(MN)} = \begin{bmatrix} c_{1,1}\cos\varphi_{MN} - c_{3,1}\sin\varphi_{MN} & c_{2,1} & c_{1,1}\sin\varphi_{MN} + c_{3,1}\cos\varphi_{MN} \\ c_{1,2}\cos\varphi_{MN} - c_{3,2}\sin\varphi_{MN} & c_{2,2} & c_{1,2}\sin\varphi_{MN} + c_{3,2}\cos\varphi_{MN} \\ c_{1,3}\cos\varphi_{MN} - c_{3,3}\sin\varphi_{MN} & c_{2,3} & c_{1,3}\sin\varphi_{MN} + c_{3,3}\cos\varphi_{MN} \end{bmatrix}$, причём коэффициенты $c_{s,k}$, $s, k = 1, 2, 3$ есть элементы матрицы жёсткости в системе координат *x*, т. е. при $\varphi_{MN} = 0$ $c^{(MN)} \equiv c$. Для определения вектора управления (программы ЧПУ) полученное многообразие траекторий $\aleph_X$ необходимо перевести в многообразие $\aleph_U$. Эта операция осуществляется на основе прямой подстановки траекторий $\{X(t), dX(t)/dt\} \in \aleph_X$ в уравнения управляемых двигателей исполнительных элементов. Тем самым учитывается не только особенность преобразования траекторий исполнительных элементов в траектории формообразующих движений, но и динамические особенности приводов, в частности, асимметрия их динамических характеристик.

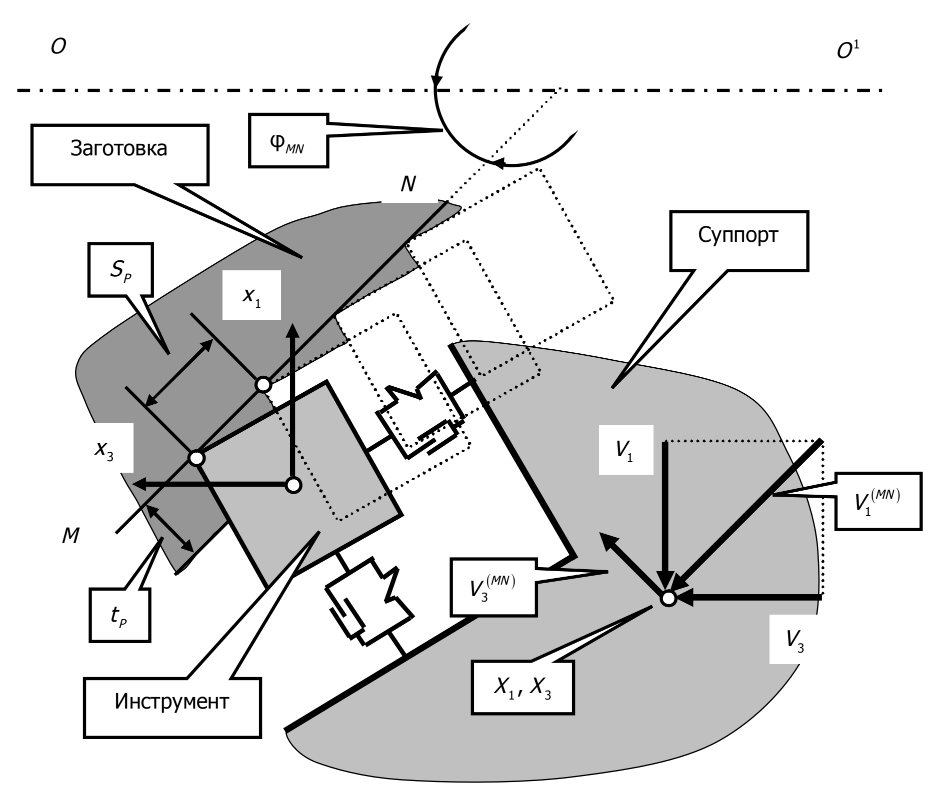



Рис. 4. Связь площади срезаемого слоя с траекториями $V_1(X_3)$, $V_3(X_3)$ и упругими деформациями $x_1(X_3)$, $x_3(X_3)$

**Пример использования синергетической концепции.** Рассмотрим модельный пример, соответствующий точению вала диаметром $d = 20,0$ мм и длиной $L = 430$ мм из Ст45. На рис. 5 приведена расчётная схема, а на рис. 6 — диаграммы изменения элементов матрицы жёсткости подсистемы заготовки, рассчитанные по методу конечных элементов. Матрицы жёсткости рассчитаны на основе программного комплекса ИСПА-386 — интегрированной системы прочностного расчёта методом конечных элементов. Для рассматриваемого модельного примера параметры матрицы жёсткости точек крепления заготовки и подвески режущего инструмента приведены в табл. 1. Для расчёта смещения точки равновесия $x_1 + y_1 = w$, усреднённой по периодам вращения заго-

товки, и определения траектории «медленного» изменения скорости подачи $\{X_3(\tau), dX_3/dt\} \in X$ необходимо иметь значения параметра ρ, которые приведены в табл. 2 для случая обработки Ст45 трёхгранными неперетачиваемыми пластинами из твёрдого сплава Т15К6 при варьировании скорости резания в диапазоне $V_P = (60,0 \div 180,0)$ м/мин для величины припуска $t_P = 2,0$ мм.

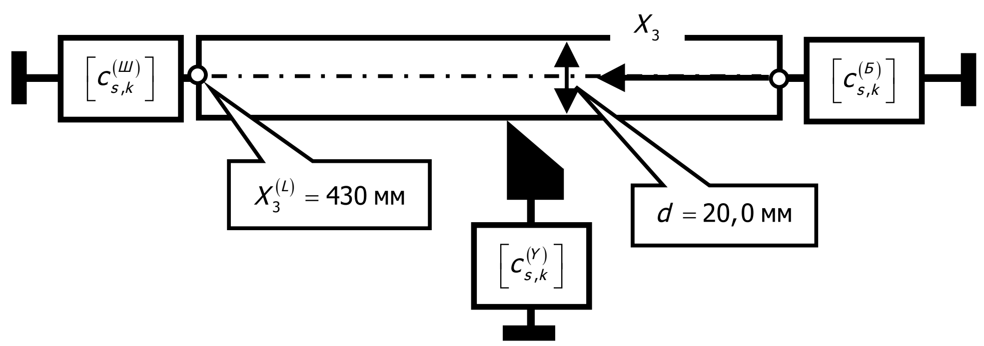



Рис. 5. Расчётная схема для определения матриц жёсткости заготовки по длине контакта инструмента и детали

*Таблица 1*

**Исходные матрицы жёсткости системы резания**

| Наименование | $c_{1,1}$, кГ/мм | $c_{2,2}$, кГ/мм | $c_{3,3}$, кГ/мм | $c_{2,1}$, кГ/мм | $c_{3,1}$, кГ/мм | $c_{3,2}$, кГ/мм |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Матрица жёсткости крепления заготовки в патроне $\left[c_{s,k}^{(Ш)}\right]$ | $8,0 \cdot 10^4$ | $6,8 \cdot 10^4$ | $5,8 \cdot 10^4$ | $4,2 \cdot 10^3$ | $2,8 \cdot 10^3$ | $2,4 \cdot 10^3$ |
| Матрица жёсткости крепления заготовки в задней бабке $\left[c_{s,k}^{(Б)}\right]$ | $1,3 \cdot 10^4$ | $0,8 \cdot 10^4$ | $7,2 \cdot 10^4$ | $0,5 \cdot 10^3$ | $2,8 \cdot 10^3$ | $2,3 \cdot 10^3$ |
| Матрица жёсткости подсистемы инструмента $\left[c_{s,k}^{(Y)}\right]$ | $0,5 \cdot 10^4$ | $0,3 \cdot 10^4$ | $0,3 \cdot 10^4$ | $0,08 \cdot 10^4$ | $0,05 \cdot 10^4$ | $0,04 \cdot 10^4$ |

*Таблица 2*

**Изменение коэффициента ρ при варьировании скорости резания**

| $V_P$, м/мин | ρ, кГ/мм$^2$ |
|---|---|
| 60,0 | 290,0 |
| 100,0 | 250,0 |
| 140,0 | 220,0 |
| 180,0 | 210,0 |

На рис. 7 приведены рассчитанные траектории изменения скорости подачи при различных значениях скорости резания $V_P$, при которых выполняется условие $w = \text{const}$. Во всех случаях величина припуска считается постоянной равной $t_P = 2,0$ мм. На рисунке вместо скорости приведена частота вращения шпинделя, которая, что очевидно, при неизменном диаметре детали отличается от скорости на коэффициент.

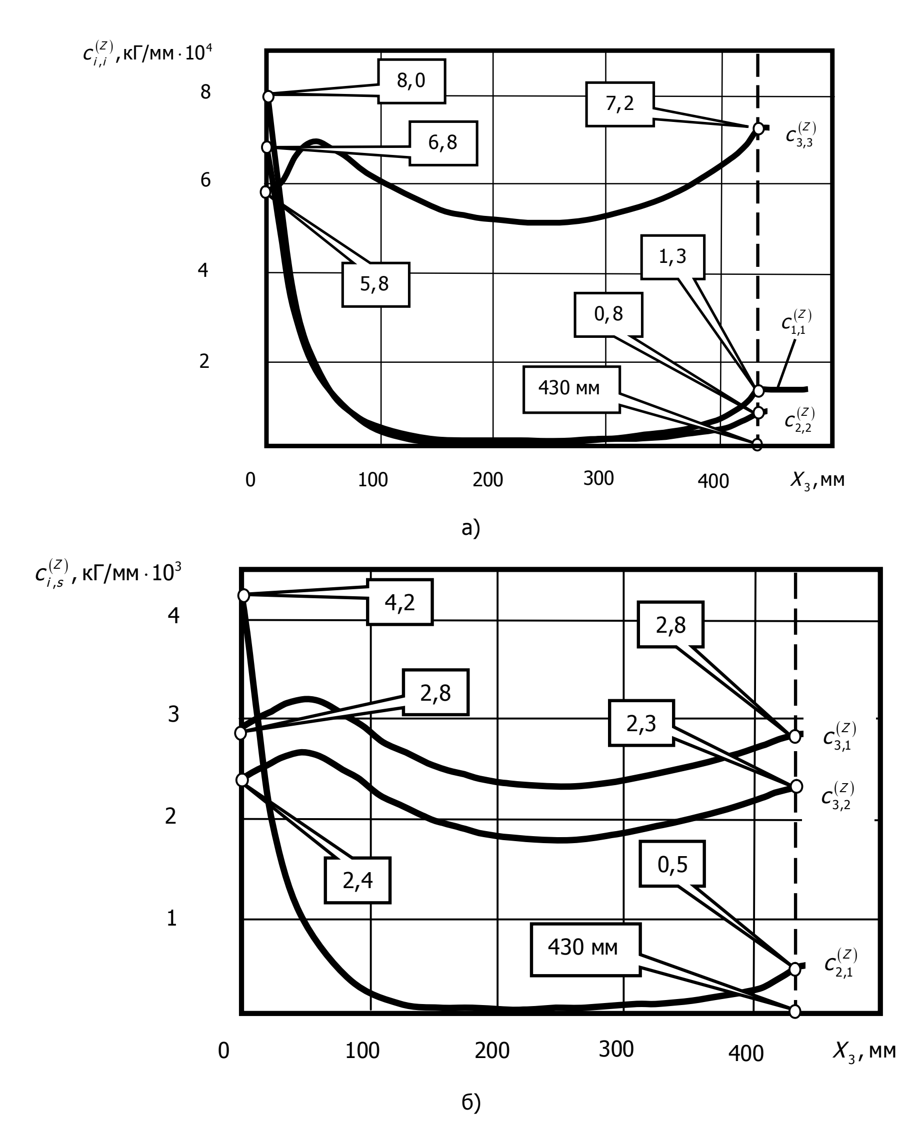



Рис. 6. Изменение матриц жёсткости заготовки вдоль координат обработки:
а — диагональные элементы; б — недиагональные элементы

Все траектории, принадлежащие поверхности, приведённой на рис. 7, и удовлетворяющие условию $dX_3/dt > 0$ , обеспечивают обработку с постоянными значениями упругих деформаций инструмента относительно заготовки в направлении, нормальном к оси вращения шпинделя. На приведённой иллюстрации траектория *А* соответствует обработке при неизменной частоте вращения шпинделя, а траектория *В* — при монотонно возрастающей. Направление движения суппорта показано стрелками. На участке 1—2 скорость остаётся неизменной, она соответствует скорости врезания инструмента в заготовку. Кроме этого, по расчётам на участке врезания наблюдается резкое возрастание скорости подачи, которое на иллюстрации не показано. Оно длится в течение 2—3 оборотов и связано с переходными процессами в зоне резания. Сразу обратим внимание на многовариантность таких траекторий.

Естественно поставить вопрос о выборе на многообразии некоторой единственной траектории, являющейся оптимальной в определенном смысле. Методика выбора траектории оптимальной скорости резания вдоль траектории движения инструмента относительно заготовки по критерию минимизации приведённых затрат на изготовление партии изделий изложена в работах [5, 6]. Здесь же подчеркнём, что речь идёт не об оптимальной, но неизменной скорости резания,

традиционно рассматриваемой в технологических исследованиях, а об оптимальной траектории. Такая траектория вычисляется на основе решения неклассических вариационных задач, в данном случае — на основе принципа динамического программирования.

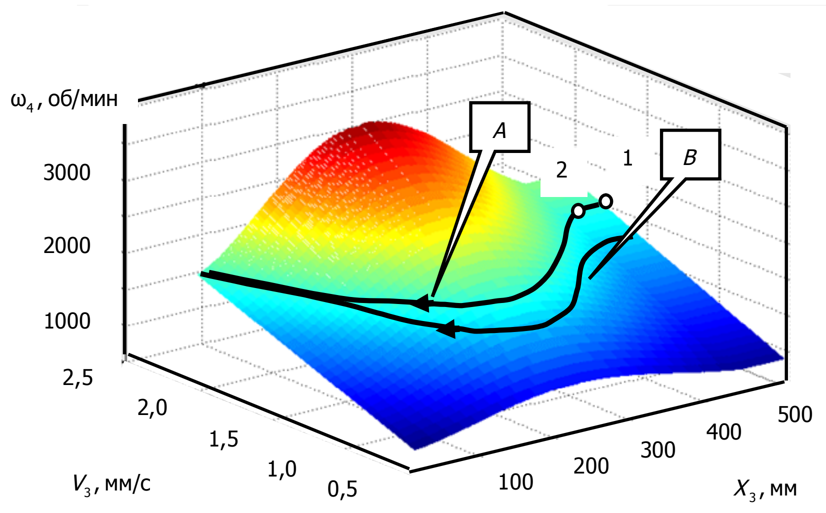



Рис. 7. Многообразие траекторий исполнительных элементов станка, обеспечивающее постоянство упругой деформации инструмента относительно заготовки при изменениях скорости подачи и частоты вращения шпинделя

**Заключение.** Опыт использования синергетической концепции при обработке изделий в условиях ОАО «Роствертол» показал возможность снижения трудоёмкости изготовления изделий ответственного назначения на 30—40 %. Однако внедрение этого метода в полной мере требует модернизации существующих на предприятии систем ЧПУ. Сущность модернизации заключается в установке сопроцессоров непрерывного управления траекториями исполнительных элементов, позволяющих обеспечивать изменение в каждом кадре управления скоростью по перемещению. При построении программы ЧПУ используется линейная интерполяция, но она осуществляется не по геометрическому образу детали, а по многообразию $\aleph_U$ . При этом используются связи, естественно существующие в динамической системе станка и формируемые в процессе резания, которые автоматически обеспечивают принцип когерентности при управлении. Изложенный подход можно распространить на обработку концевыми фрезами, а также на другие процессы обработки, в том числе многолезвийными инструментами [1]. Этот подход, дополненный сопроцессорами динамического мониторинга обработки [7—9], характеризует новый этап в создании систем управления станками в интегрированном производстве.

**Библиографический список**

1. Заковоротный, В. Л. Динамика процесса резания. Синергетический подход / В. Л. Заковоротный, М. Б. Флек. — Ростов-на-Дону: Терра, 2006. — 876 с.

2. Флек, М. Б. Технологичность и технология механической обработки деталей вертолётов / М. Б. Флек. — Ростов-на-Дону: Терра, 2004. — 224 с.

3. Флек, М. Б. Управление формообразующими траекториями на станках с ЧПУ. Тенденции и подходы / М. Б. Флек. — Ростов-на-Дону: Изд-во ИУИ АП, 2001. — 116 с.

4. Синергетика и проблемы теории управления / под ред. А. А. Колесникова. — Москва: Физматлит, 2004. — 504 с.

5. Определение оптимальных траекторий формообразующих движений при обработке резанием / В. Л. Заковоротный [и др.] // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2001. — Т. 1. — № 3 (9). — С. 86—107.

6. Заковоротный, В. Л. Методика выбора оптимальных траекторий формообразующих движений при обработке резанием / В. Л. Заковоротный, Д. А. Волошин // Исследования станков и инструментов для обработки сложных поверхностей. — Саратов: Изд. центр Саратовск. гос. техн. ун-та, 2002. — С. 35—47.

7. Заковоротный, В. Л. Построение информационной модели динамической системы металлорежущего станка для диагностики процесса обработки / В. Л. Заковоротный, И. В. Ладник // Проблемы машиностроения и надёжности машин. — 1991. — № 4. — С. 75—79.

8. Заковоротный, В. Л. Информационное обеспечение системы динамической диагностики износа режущего инструмента на примере токарной обработки / В. Л. Заковоротный, Е. В. Бордачёв // Проблемы машиностроения и надёжности машин. — 1995. — № 3. — С. 95—103.

9. Заковоротный, В. Л. Динамический мониторинг состояния процесса резания / В. Л. Заковоротный, Е. В. Бордачёв, М. И. Алексейчик // СТИН. — 1998. — № 12. — С. 6—13.

Материал поступил в редакцию 07.12.2011.

**References**

1. Zakovorotny`j, V. L. Dinamika processa rezaniya. Sinergeticheskij podxod / V. L. Zakovorotny`j, M. B. Flek. — Rostov-na-Donu: Terra, 2006. — 876 s. — In Russian.

2. Flek, M. B. Texnologichnost` i texnologiya mexanicheskoj obrabotki detalej vertolyotov / M. B. Flek. — Rostov-na-Donu: Terra, 2004. — 224 s. — In Russian.

3. Flek, M. B. Upravlenie formoobrazuyushhimi traektoriyami na stankax s ChPU. Tendencii i podxody` / M. B. Flek. — Rostov-na-Donu: Izd-vo IUI AP, 2001. — 116 s. — In Russian.

4. Sinergetika i problemy` teorii upravleniya / pod red. A. A. Kolesnikova. — Moskva: Fizmatlit, 2004. — 504 s. — In Russian.

5. Opredelenie optimal`ny`x traektorij formoobrazuyushhix dvizhenij pri obrabotke rezaniem / V. L. Zakovorotny`j [i dr.] // Vestnik Donsk. gos. texn. un-ta. — 2001. — T. 1, # 3 (9). — S. 86—107. — In Russian.

6. Zakovorotny`j, V. L. Metodika vy`bora optimal`ny`x traektorij formoobrazuyushhix dvizhenij pri obrabotke rezaniem / V. L. Zakovorotny`j, D. A. Voloshin // Issledovaniya stankov i instrumentov dlya obrabotki slozhny`x poverxnostej: sb. — Saratov: Izd. centr Saratovsk. gos. texn. un-ta, 2002. — S. 35—47. — In Russian.

7. Zakovorotny`j, V. L. Postroenie informacionnoj modeli dinamicheskoj sistemy` metallorezhushhego stanka dlya diagnostiki processa obrabotki / V. L. Zakovorotny`j, I. V. Ladnik // Problemy` mashinostroeniya i nadyozhnosti mashin. — 1991. — # 4. — S. 75—79. — In Russian.

8. Zakovorotny`j, V. L. Informacionnoe obespechenie sistemy` dinamicheskoj diagnostiki iznosa rezhushhego instrumenta na primere tokarnoj obrabotki / V. L. Zakovorotny`j, E. V. Bordachyov // Problemy` mashinostroeniya i nadyozhnosti mashin. — 1995. — # 3. — S. 95—103. — In Russian.

9. Zakovorotny`j, V. L. Dinamicheskij monitoring sostoyaniya processa rezaniya / V. L. Zakovorotny`j, E. V. Bordachyov, M. I. Aleksejchik // STIN. — 1998. — # 12. — S. 6—13. — In Russian.

# SYNERGETIC CONCEPT IN CONSTRUCTION OF ACCURACY CONTROL SYSTEMS FOR MANUFACTURING PARTS OF COMPLEX GEOMETRIC FORMS

**V. L. Zakovorotniy**
(Don State Technical University),
**M. B. Flek**
(JSC 'Rostvertol'),
**Pham Dinh Tung**
(Don State Technical University)

*The mathematical simulation, techniques and NC programming for processing parts of complex geometric forms at JSC 'Rostvertol' is resulted.*
***Keywords:*** *synergetic concept, quality of manufacture, dynamics, process control of machining.*

УДК 621-192

# Определение действующего напряжения в стреле одноковшового экскаватора на мелиоративных работах

**В. Е. Касьянов, М. М. Зайцева, А. А. Котесова, А. А. Котесов**
(Ростовский государственный строительный университет)

*Предлагается метод определения параметров распределения Фишера — Типпета генеральной совокупности конечного объёма ($A_c$, $B_c$, $C_c$) по выборочным данным средневзвешенных напряжений. При этом рекомендуется использовать средние значения параметров $A_c$, $B_c$, $C_c$, полученные при многократном моделировании.*
***Ключевые слова:*** *выборочные данные, напряжение, распределение Фишера — Типпета, совокупность, моделирование.*

**Введение.** На сельскохозяйственных и мелиоративных работах наряду с сельхозмашинами (зерноуборочные комбайны, сеялки, культиваторы) широкое применение получили ряд строительных, в том числе землеройных машин. Среди них следует отметить дорогостоящую и сложную машину — одноковшовый экскаватор, который получил распространение на мелиоративных работах.

Актуальной задачей машиностроительной отрасли остаётся повышение эффективности техники. Одним из основных показателей надёжности (долговечности) является усталостный ресурс машины (детали). Известно, что для его определения необходимо определить действующее напряжение в опасном сечении детали при эксплуатации. При этом получение распределения средневзвешенных напряжений [1] в реальных условиях — трудоёмкая и дорогостоящая задача, так как требуется провести тензометрирование однотипных деталей на представительной партии машин (например, одноковшовых экскаваторов), которые обычно территориально рассредоточены. В данной ситуации на первый план выходят задачи совершенствования и разработки новых методов получения параметров распределения генеральной совокупности конечного объёма (совокупности) с помощью выборочных данных.

**Действующее напряжение в стреле одноковшового экскаватора.** В данной работе предлагается метод определения параметров совокупности распределения Фишера — Типпета (ФТ) $A_c$, $B_c$, $C_c$ по выборочным данным средневзвешенных напряжений, алгоритм которого представлен на рис. 1.

Известно [1], что для аппроксимации данных по нагруженности применяется распределение ФТ 2-го порядка:
функция распределения

$$F(x) = \ell^{-\left(\frac{c-x}{a}\right)^b}, \quad -\infty < x < c,$$

плотность распределения

$$f(x) = \frac{b}{a}\left(\frac{c-x}{a}\right)^{b-1} \ell^{-\left(\frac{c-x}{a}\right)^b},$$

где *a, b, c* — параметры распределения ФТ.

По принципу соответствия выборки и совокупности конечного объёма (репрезентативности выборки) параметры форм выборки $b$ и совокупности $B_c$ будут равны, т. е. $B_c = b$ [2].

По данному алгоритму проведён вычислительный эксперимент. Из моделированной совокупности значений средневзвешенных напряжений $\sigma_{cвi}$ в опасном сечении стрелы экскаватора (рис. 2) с параметрами распределения $A_c$ = 33,05; $B_c$ = 3,03; $C_c$ = 69,6 объёма $N_c = 10^4$ получены

выборки объёмом $n$ = 50 в количестве $m$ = 50 штук. Определены параметры распределения совокупности $A_{c\gamma i}$, $B_{c\gamma i}$, $C_{c\gamma i}$ для γ = 0,95—0,9$_5$, где $i$ = 1, …, $m$.

Исходные данные: $n$, $\sigma_{cвi}$

↓

Аппроксимация моделированного вариационного ряда средневзвешенных напряжений $\sigma_{cвi}$ законом ФТ с тремя параметрами $a$, $b$, $c$

↓

Среднеквадратическое отклонение распределения ФТ

$$S_{ФТ} = \frac{a}{n^{\frac{1}{b}}}\sqrt{\Gamma\left(1+\frac{2}{b}\right)-\Gamma^2\left(1+\frac{1}{b}\right)}, \quad b>0$$

↓

Параметр сдвига $C_c$ распределения ФТ для совокупности

$$C_c = c + U_\gamma S_{ФТ}$$

↓

Параметр формы распределения ФТ $B_c$ для совокупности

$$B_c = b$$

↓

Математическое ожидание распределения ФТ

$$M = c - \frac{a}{n^{\frac{1}{b}}}\Gamma\left(1+\frac{1}{b}\right)$$

↓

Параметр масштаба $A_c$ распределения совокупности

$$A_c = \frac{C_c - M}{\Gamma\left(1+\frac{1}{B_c}\right)}$$

Рис. 1. Алгоритм получения параметров распределения ФТ $A_c$, $B_c$, $C_c$ для совокупности средневзвешенных напряжений: $\sigma_{cвi}$ — вариационный ряд средневзвешенных напряжений; $a$, $b$, $c$ — выборочные параметры распределения ФТ; $n$ — объём выборки; Γ(–) — гамма-функция; $U_\gamma$ — квантиль нормального распределения; γ — вероятность, соответствующая нормальному распределению

Найдены максимальные $C_{c\max}$, $A_{c\max}$; минимальные $C_{c\min}$, $A_{c\min}$ и средние $C_{cср}$, $A_{cср}$ значения параметров. Вычислены погрешности $\delta_i$, %, их определения относительно параметров исходной совокупности. Результаты представлены в табл.

Построены графики плотности распределения ФТ выборочных данных и совокупности (рис. 3).

Построены графики погрешностей определения параметров распределения ФТ совокупности средневзвешенных напряжений (рис. 4, 5).

**Параметры распределения Фишера — Типпета для совокупности и погрешности их определения δ, %**

| γ | $C_{c\min}$ | δ, % | $C_{cср}$ | δ, % | $C_{c\max}$ | δ, % | $A_{c\min}$ | δ, % | $A_{cср}$ | δ, % | $A_{c\max}$ | δ, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,95 | 64,19 | 8,4 | 71,49 | 2,4 | 77,32 | 9,9 | 26,31 | −25,63 | 32,91 | −1,3 | 38,44 | 14,0 |
| 0,99 | 65,47 | 6,3 | 72,86 | 4,3 | 78,90 | 11,8 | 27,67 | −19,43 | 34,44 | 3,1 | 40,12 | 17,6 |
| $0,9_3$ | 66,91 | 4,0 | 74,41 | 6,3 | 80,68 | 13,7 | 29,22 | −13,11 | 36,18 | 7,9 | 42,00 | 21,3 |
| $0,9_4$ | 68,09 | 2,2 | 75,68 | 7,8 | 82,14 | 15,3 | 30,48 | −8,42 | 37,59 | 11,4 | 43,55 | 24,1 |
| $0,9_5$ | 69,12 | 0,7 | 76,78 | 9,1 | 83,40 | 16,5 | 31,59 | −4,63 | 89,91 | 14,2 | 44,90 | 26,4 |

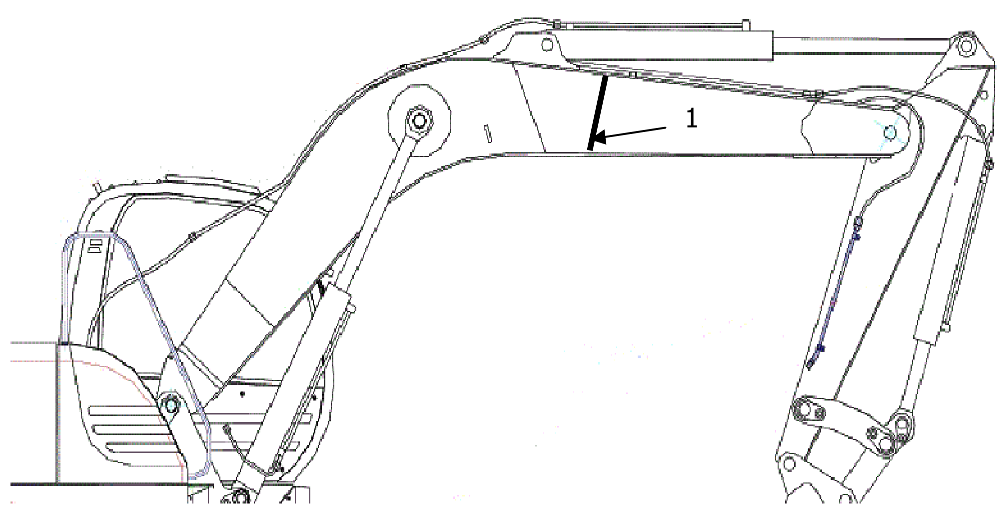



Рис. 2. Опасное сечение (1) стрелы одноковшового экскаватора

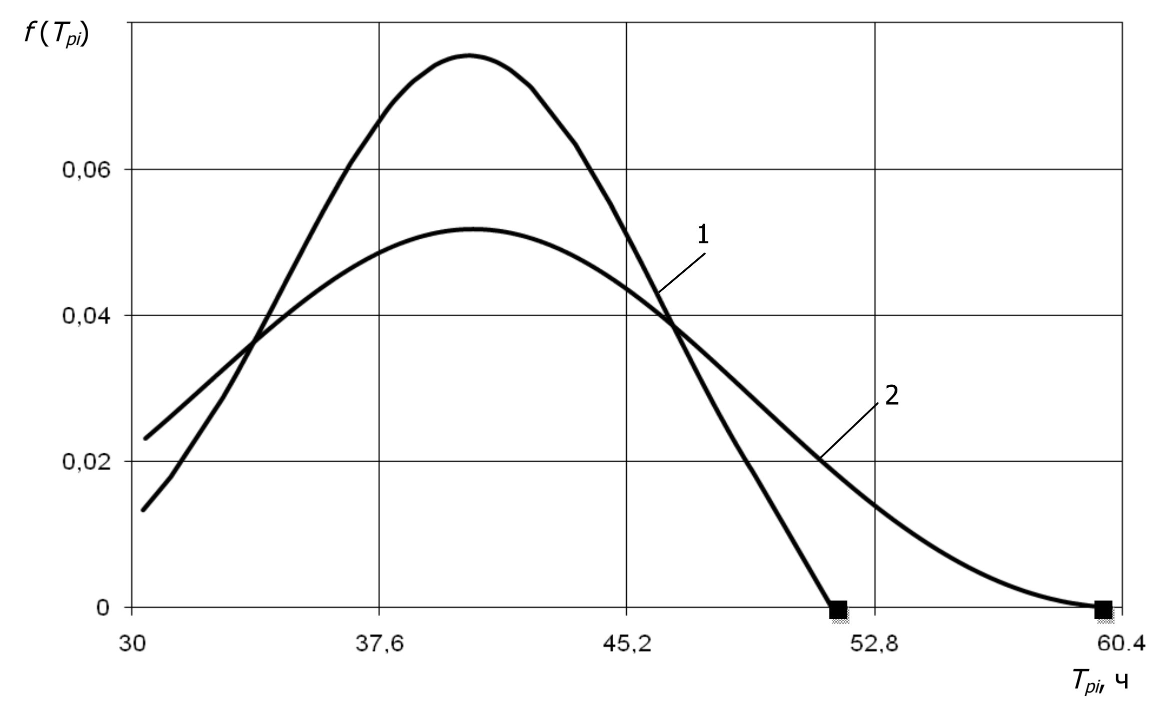



Рис. 3. Плотности распределения ФТ выборочных данных (1) и совокупности (2) средневзвешенного напряжения

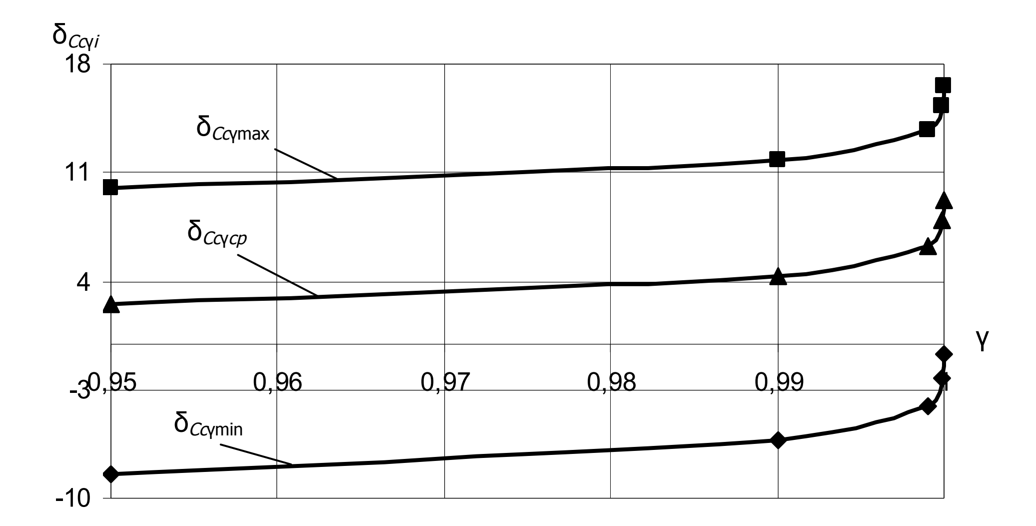



Рис. 4. Погрешности определения минимальных, максимальных и средних параметров $C_{c\gamma i}$

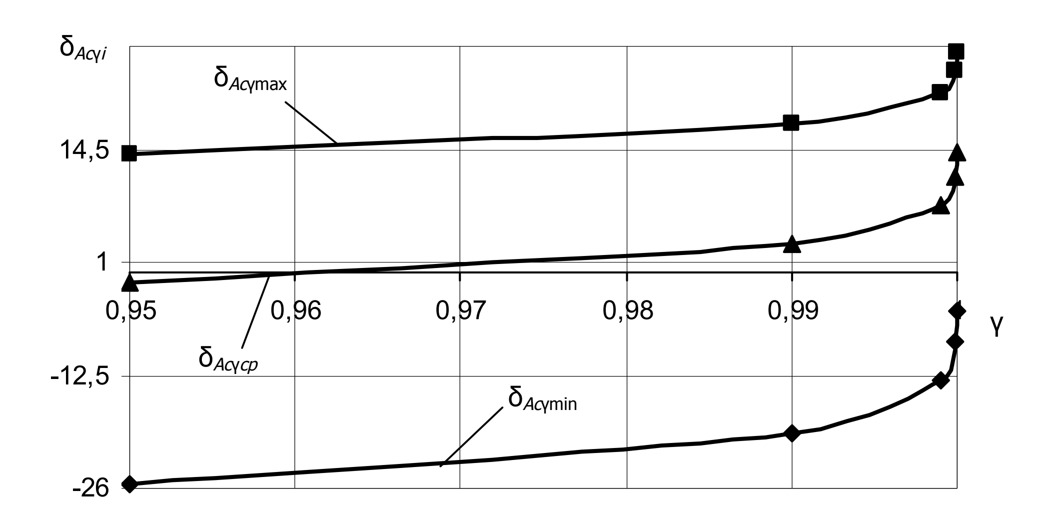



Рис. 5. Погрешности определения минимальных, максимальных и средних параметров $A_{c\gamma i}$

**Заключение.** Таким образом, предлагаемый метод позволяет получить параметры распределения Фишера — Типпета генеральной совокупности конечного объёма средневзвешенных напряжений. При этом рекомендуется использовать средние при многократном моделировании параметры, так как погрешность в данном случае минимальная и составляет для $C_{cср}$ = 2,4—9,1 %, а для $A_{cср}$ = 1,3—14,2 %.

**Библиографический список**

1. Справочник по надёжности. В 3 томах. Том 3 / под ред. Б. Е. Бердичевского. — Москва: Мир, 1970. — 376 с.

2. Определение параметров распределения закона Вейбулла для совокупности конечного объёма / В. Е. Касьянов [и др.]. — Деп. в ВИНИТИ № 21-В2012 от 24.01.2012.

Материал поступил в редакцию 08.12.2011.

**References**

1. Spravochnik po nadyozhnosti. V 3 tomax. Tom 3 / pod red. B. E. Berdichevskogo. — Moskva: Mir, 1970. — 376 s. — In Russian.
2. Opredelenie parametrov raspredeleniya zakona Vejbulla dlya sovokupnosti konechnogo ob``yoma / V. E. Kas`yanov [i dr.]. — Dep. v VINITI # 21-V2012 ot 24.01.2012. — In Russian.

## DETERMINATION OF OPERATING STRESS IN SHOVEL BOOM AT RECLAMATION WORK

**V. E. Kasyanov, M. M. Zaytseva, A. A. Kotesova, A. A. Kotesov**
(Rostov State Construction University)

*The method of determining Fisher—Tippett distribution parameters of final volume parent population ($A_c$, $B_c$, $C_c$) under the sampled data of the average stress is offered. Thereby, average values of $A_c$, $B_c$, $C_c$ parametres obtained in the repetitive simulation are recommended to use.*
***Keywords:*** *sampled data, stress, Fisher—Tippett distribution, population, simulation.*

УДК 678.019.34

# Свойства полимерных антифрикционных покрытий в кислых средах

**В. А. Кохановский, В. В. Рубанов, И. Б. Власенко**
(Донской государственный технический университет)

*Приведены результаты экспериментальных исследований адгезионной прочности и ползучести полимерных композиционных покрытий в кислых водных средах.*
***Ключевые слова:*** *антифрикционные полимерные композиты, кислые водные среды, адгезионная прочность, деформация ползучести.*

**Введение.** Полимерные самосмазывающиеся покрытия на основе фторопластовых волокон часто используются в различных химически активных средах. Это подшипники насосов при производстве синтетических материалов, перекачки различных моющих, охлаждающих и других сред.

Рассматриваемые антифрикционные полимерные покрытия представляют собой гибридный композит, состоящий из фенольной матрицы и армирующей компоненты в виде технической ткани из фторопластовых нитей «полифен» и полиимидных нитей «аримид Т» [1].

Определяющей особенностью структуры и состава рассматриваемых антифрикционных композитов является наличие в армирующем каркасе фторопластовых нитей «полифен». Имея практически нулевую адгезию к матричному связующему, эти нити образуют целую сеть микроканалов в переходном слое с матрицей как в сечении самого композита, так и в зоне контакта с субстратом (рис. 1).

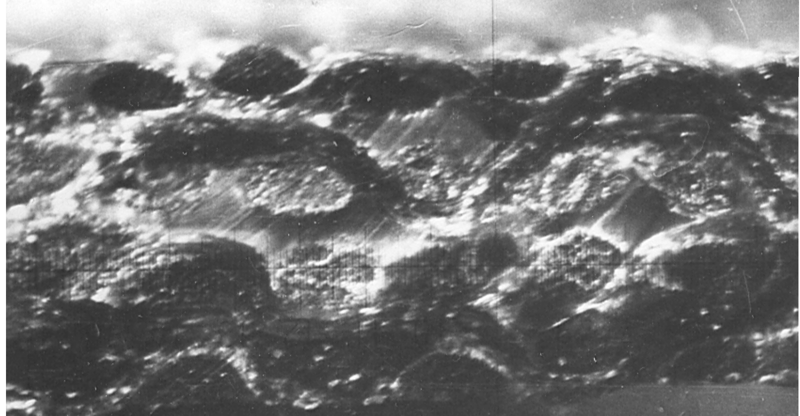




Рис. 1. Сечение полимерного композита (×60)



Рис. 2. Испытания на ползучесть в водных средах

Благодаря имеющемуся тканному армирующему каркасу когезионная прочность покрытий значительно превышает адгезионную. В связи с этим, а также учитывая возможность подслойной коррозии при использовании стального субстрата, первостепенное значение приобретает адгезионная прочность покрытий.

Кроме того, проникая в поры и микронесплошности композита в результате капиллярных эффектов, а также диффундируя в вязкоупругую матрицу, активные среды существенно снижают весь комплекс эксплуатационных свойств покрытия. В первую очередь это проявляется в увеличении деформации ползучести, вносящей заметный вклад в формирование зазора трибосопряжения, определяющего его ресурс.

Таким образом, экспериментальные исследования интенсификации ползучести покрытия и снижения его адгезионной прочности представляются интересными и актуальными.

**Методика исследований.** Перед испытаниями образцы исследуемых покрытий на стальном субстрате выдерживались в водных кислых буферных растворах, являющихся моделями различных технологических сред, при экспозиции 120 часов. Сами испытания также выполнялись непосредственно в активных средах (рис. 2).

В качестве сквозного параметра, характеризующего свойства водных сред, был выбран водородный показатель pH. Он варьировался в пределах от 1,68 (концентрированная кислая среда) до 7,0 (дистиллированная вода).

Образцы покрытия изготавливались из препрега на основе полутораслойного шестиремизного неправильного атласа средней толщиной 0,63 мм.

Адгезионная прочность покрытий оценивалась по величине прочности на неравномерный отрыв при угле 180° на машине для испытания текстильных материалов модели РТ250М-2.

Стойкость рассматриваемых покрытий в химически активных средах исследовалась на высокоточном комплексе для механических испытаний модели TIRA test 2850 фирмы DOLI. Этот комплекс представляет собой универсальную испытательную машину с механическим приводом, управляемую электронной системой EDC-120, которая имеет интерфейс с персональным компьютером, позволяющий в диалоговом режиме выполнять необходимые настройки параметров испытаний.

Все эксперименты планировались по многофакторным планам, а их результаты обрабатывались статистически.

**Экспериментальные результаты.** Результаты исследования прочности антифрикционных покрытий на неравномерный отрыв после экспозиции в средах с различным pH приведены на рис. 3.

Для интерполяционных расчётов получена регрессионная модель

$$P = 2{,}63t^{-0{,}365}, \quad (1)$$

где $P$ — прочность на отслаивание при 180°, кН/м; $t$ — время экспозиции, $10^{-2}$ час.

Средняя погрешность модели равна 4,3 %.

Известно, что концентрированные кислоты плохо реагируют с металлами, вызывая лишь пассивацию их поверхности, а разбавленные кислоты растворяют металл.

Для изучения влияния на адгезионную прочность связующего различной величины водородного показателя проведены дополнительные специальные исследования (см. рис. 4).

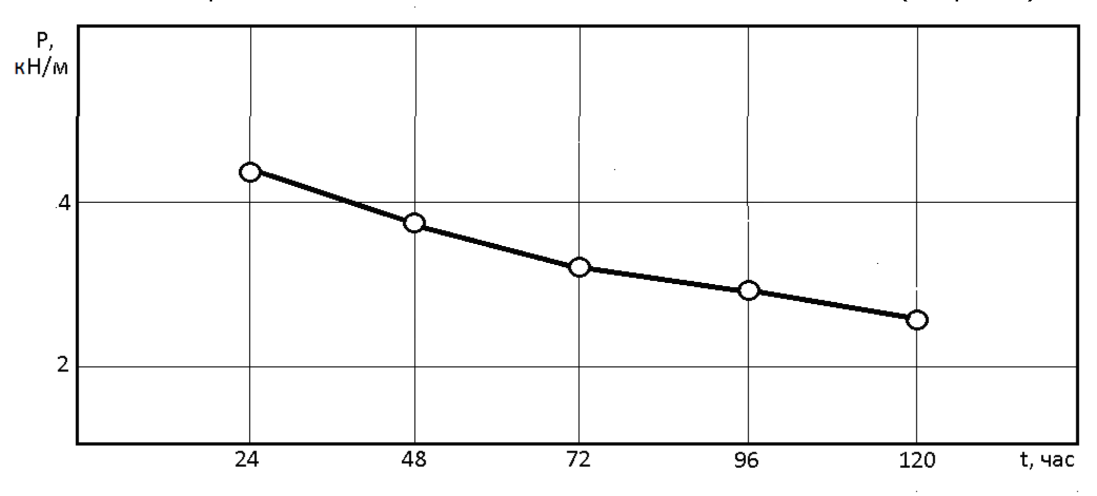



Рис. 3. Влияние времени экспозиции и водородного показателя среды на адгезионную прочность покрытий в кислой среде (pH = 1,68)

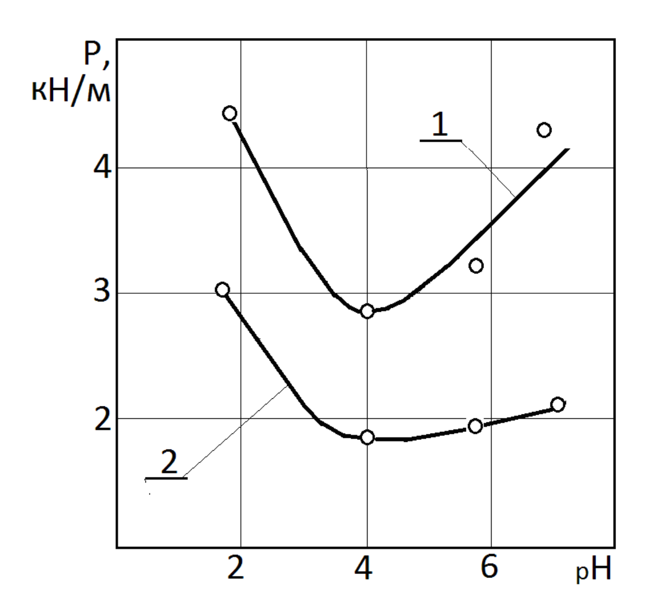



Рис. 4. Влияние водородного показателя водной среды на адгезионную прочность покрытия: 1 — 24 часа; 2 — 120 часов

Анализ графиков показывает чёткий минимум адгезионной прочности для относительно слабокислых водных растворов при величине pH ≈ 4. Причём снижение прочности происходит в результате подслойного травления и окончательного (не восстанавливающегося после высыхания) разрушения водородных связей.

Итоговая оценка влияния активных водных сред выполнялась по коэффициенту остаточной адгезионной прочности, определяемому отношением текущей адгезионной прочности $P_{сред}$ к исходной, найденной в условиях обычной атмосферы $P_o$,

$$K = (P_{сред} / P_o)\ 100\ \%. \quad (2)$$

Исследования влияния водных сред на коэффициент остаточной прочности в связи со значительной кривизной поверхности отклика осуществлялись по квадратичному экспериментальному плану. Полученная регрессионная модель имеет следующий вид:

$$K = 61{,}273 - 2{,}265(\text{pH}) - 20{,}673t - 1{,}884(\text{pH})\ t + 0{,}371(\text{pH})^2 - 2{,}242t^2 \quad (3)$$

Модель адекватна, обеспечивает среднюю погрешность в 4,8 %, а наибольшую — 8,8 %. Зависимость адгезионной прочности покрытий в исследованном диапазоне нелинейна.

Знание величины остаточной адгезионной прочности позволяет установить область работоспособности фторопластсодержащих композиционных покрытий.

При исследовании ползучести покрытий в связи с их малой толщиной измерения деформации осуществлялись по траверсному пути машины TIRA test. Начальные участки диаграмм возрастания нагрузки (рис. 5), снятые непосредственно с испытательной машины, имеют горизонтальный участок, вызванный смятием поверхностного «ворса» ткани, и осцилляции, связанные, по-видимому, с выжиманием жидкости из пор покрытия. Через ≈ 10 с скорость роста силы уменьшается, что говорит о начале процесса деформации.

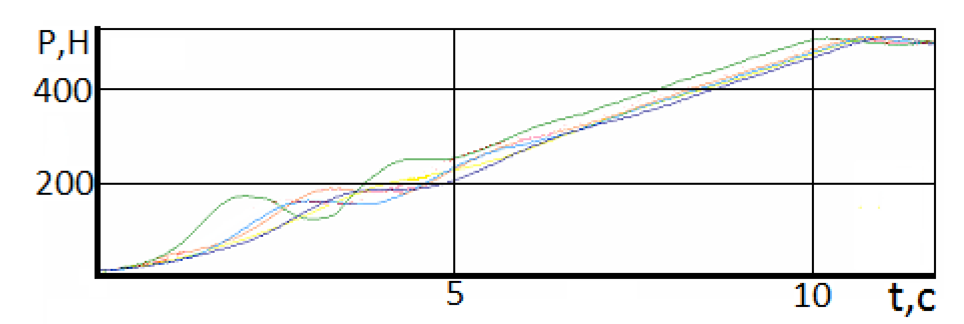



Рис. 5. Начальные участки зависимостей силы от времени нагружения

Примеры диаграмм ползучести образцов за первые 30 минут испытания даны на рис. 6. Здесь розовая точка обозначает начальный момент нарастания нагрузки, а зелёная — фиксацию нагрузки и начало ползучести. Таким образом, полученные графики иллюстрируют суммарную вязкоупругую деформацию.

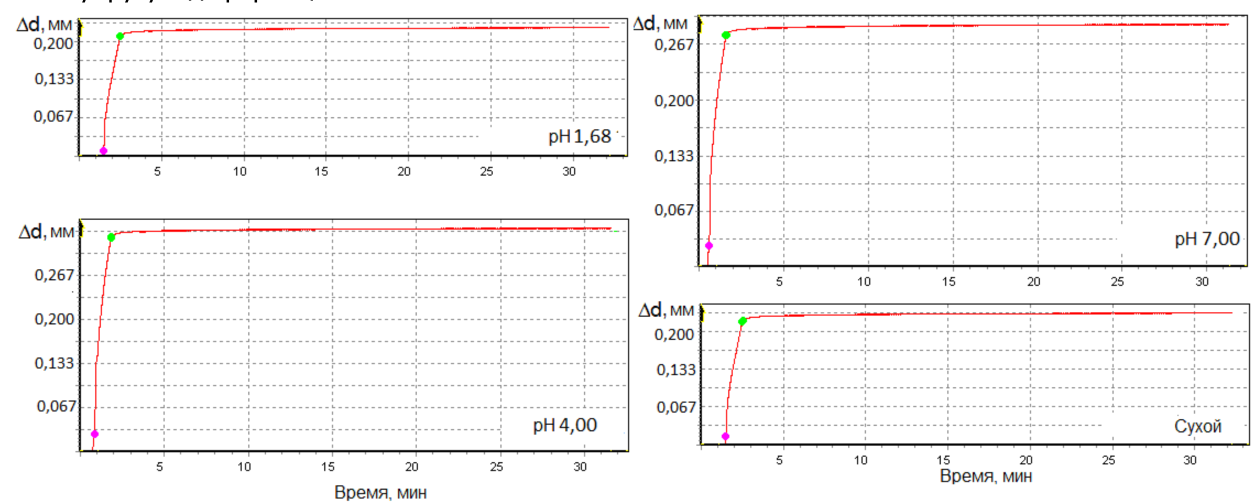



Рис. 6. Зависимости вязкоупругой деформации от времени (100 МПа)

Для количественного описания явления ползучести при постоянной нагрузке использовалась известная модель «типичного тела» [2].

$$\varepsilon(t) = \sigma \cdot \left[ \frac{1}{E_\infty} - \left( \frac{1}{E_\infty} - \frac{1}{E_0} \right) \cdot \exp\left( -\frac{t}{\tau} \right) \right], \quad (4)$$

где $E_0$ — так называемый мгновенный модуль упругости, $E_\infty$ — при бесконечном времени испытания на ползучесть, τ — постоянная времени.

*Таблица 4*

**Зависимость модулей $E_0$ / $E_\infty$, МПа, от напряжений сжатия σ и водородного показателя pH для композита**

| Напряжения сжатия, МПа | Сухой материал | pH химически активной среды | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1,8 | 4,0 | 7,0 |
| 5 | 20,6<br>18,2 | 17,2<br>15,9 | 11,6<br>10,6 | 28,5<br>25,9 |
| 50 | 113,6<br>103,6 | 112,4<br>102,6 | 74,1<br>67,8 | 108,7<br>98,5 |
| 100 | 250<br>227 | 263<br>232 | 147<br>139 | 202<br>187 |

Анализ представленных графиков показывает, что материал при больших значениях сжимающих напряжений демонстрирует сильно нелинейное поведение, которое проявляется в значительном росте обоих модулей с ростом $\sigma_{сж}$. Так, практически для всех образцов с увеличением сжимающей нагрузки оба модуля увеличиваются примерно на порядок. Поведение модулей материалов, выдержанных в различных средах, резко различается.

Зависимость мгновенного и равновесного модулей от напряжений сжатия и водородного показателя даны в табл. 4.

Интересно отметить, что модули образцов композита, находившейся в дистиллированной воде, при малых напряжениях даже несколько превосходят модули сухого материала. Это объясняется определёнными затруднениями выжимания жидкостей из пор композита. С увеличением напряжений до 50 МПа модули материала, подвергнутого влиянию активных сред, уже на 10 % ниже, чем у сухого, а при напряжениях 100 МПа это снижение уже составляет 30—35 % (см. рис. 6).

**Выводы.** Анализ моделей и графиков позволяет отметить для антифрикционных покрытий на стальном субстрате наличие области минимальной адгезионной прочности в кислых водных средах с водородным показателем pH ≈ 4—5. Остаточная адгезионная прочность покрытия составляет для исследованной области переменных факторов 55—20 %.

Вклад деформации ползучести в формирование зазора трибосопряжения при воздействии на композит кислых водных растворов составляет в исследованном диапазоне 41—53 %. С ростом нагрузки деформация ползучести возрастает. Наибольшее снижение жёсткости наблюдается в слабокислых растворах при pH ≈ 4—5.

С увеличением времени экспозиции разница во влиянии величины водородного показателя среды на адгезионную прочность и величину деформации ползучести сглаживается.

**Библиографический список**

1. Кохановский, В. А. Армирующая компонента антифрикционных полимерных покрытий / В. А. Кохановский // Управление. Конкурентоспособность. Автоматизация: сб. тр. / под общ. ред. И. В. Богуславского. — Вып. 1. — Ростов-на-Дону: Изд-во ИУИ АП, 2002. — С. 73—79.

2. Латишенко, В. А. Диагностика жёсткости и прочности материалов / В. А. Латишенко. — Рига: Зинатне, 1968. — 320 с.

Материал поступил в редакцию 09.12.2011.

**References**

1. Koxanovskij, V. A. Armiruyushhaya komponenta antifrikcionny`x polimerny`x pokry`tij / V. A. Koxanovskij // Upravlenie. Konkurentosposobnost`. Avtomatizaciya: sb. tr. / pod obshh. red. I. V. Boguslavskogo. — Vy`p. 1. — Rostov-na-Donu: Izd-vo IUI AP, 2002. — S. 73—79. — In Russian.

2. Latishenko, V. A. Diagnostika zhyostkosti i prochnosti materialov / V. A. Latishenko. — Riga: Zinatne, 1968. — 320 s. — In Russian.

## PROPERTIES OF POLYMERIC ANTIFRICTION COATINGS IN ACID AQUATIC MEDIA

**V. A. Kokhanovskiy, V. V. Rubanov, I. B. Vlasenko**
(Don State Technical University)

*The field research of the adhesion strength and creep flow of the polymeric composite coatings in the acid aquatic media is resulted.*

***Keywords:*** *antifriction polymeric composites, acid aquatic media, adhesion strength, creep flow.*

УДК 631.354.2

# Изучение характера взаимодействия пальцев полотняно-транспортёрного подборщика с валком в зоне подбора

**С. М. Красноступ, О. Н. Лесняк**
(Донской государственный технический университет),
**А. Д. Азаров**
(Научно-исследовательский институт механики и прикладной математики им. И. И. Воровича Южного федерального университета)

*С целью выявления причин возникновения потерь зерна за полотняно-транспортёрным подборщиком определён характер взаимодействия пальцев подборщика с валком в зоне его подбора. Отмечено, что основные потери за подборщиком возникают в зоне подбора валка в результате вымолота зерна деформированными пальцами подборщика. Установлена зависимость потерь зерна от деформации пальцев подборщика.*
***Ключевые слова:*** *полотняно-транспортёрный подборщик, валок, деформации пальцев, потенциальная энергия, вымолот зерна.*

**Введение.** Проблема потерь выращенного урожая достаточно сложна и многокомпонентна, она состоит из ряда причин, одна из которых — это уборочные потери, в частности, потери за подборщиком при уборке урожая раздельным комбайнированием [1—3].

Анализ научно-технической и патентной литературы показал, что из всего парка уборочных машин наименее изученным с точки зрения возникновения потерь зерна является подборщик. Особенно это относится к полотняно-транспортёрному подборщику, допускающему наименьшие потери зерна среди всех имеющихся типов подборщиков. Именно наличие наименьших потерь обуславливает наибольшее предпочтение в использовании полотняно-транспортёрных подборщиков, как в нашей стране, так и за рубежом.

Однако, как показывает практика, потери зерна и за полотняно-транспортёрным подборщиком значительно превышают нормативные [2, 3].

Имеющиеся аналитические исследования в большинстве своём относятся к подборщикам барабанного типа, которые конструктивно отличаются от полотняно-транспортёрного подборщика, а значит, приводимые в литературе рекомендации для полотняно-транспортёрного подборщика могут быть использованы лишь частично, и на сегодняшний день полотняно-транспортёрный подборщик остаётся наиболее востребованным, но наименее изученным.

Это обстоятельство позволяет сделать вывод, что в настоящее время рассмотрены не все аспекты проблемы возникновения уборочных потерь и задача по сокращению потерь зерна за подборщиками, особенно за полотняно-транспортёрным подборщиком, является актуальной.

**Постановка рабочей гипотезы, цели и задачи исследования.** В связи с этим проведён анализ и предложена систематизация причин возникновения потерь зерна за полотняно-транспортёрным подборщиком [1]. Данное исследование показало, что в общем объёме потерь за подборщиком, наряду с вышеуказанными потерями, особое место занимают потери зерна в зоне подбора валка от ударного воздействия деформированных пальцев по нижней части валка.

Как известно, на качество подбора валка влияют условия, в которых работает подборщик, в частности, высота расположения валка на стерне.

В зависимости от расположения валка на стерне платформа подборщика с прикреплёнными на ней подбирающими пальцами устанавливается на различную высоту над уровнем почвы.

Это обстоятельство позволяет выделить три вариации работы подборщика.

Первая, когда пальцами подборщика подбирается правильно сформированный валок и платформа подборщика установлена на рекомендуемом агротехническими нормами расстоянии от почвы.

Вторая — валок расположен на короткой стерне, высота которой не превышает 12 см.

Третья (худший случай) — валок расположен на почве.

Во втором и третьем случаях в целях более тщательного подбора урожая платформа подборщика устанавливается на высоту порядка 100 мм.

В процессе данной установки платформы подбирающие пальцы, находящиеся на нижней ветви транспортёра, прочёсывая стерню, вплоть до зоны подбора постоянно погружены в почву. Взаимодействие пальцев подборщика с почвой приводит к их деформации, т. е. к моменту встречи с валком палец подборщика находится в деформированном состоянии.

Следует отметить также, что деформации пальцев возможны и при нормативной установке платформы подборщика над почвой — в результате соприкосновения с неровностями почвенного покрова и (или) при запутывании их в стерне. В процессе деформации палец накапливает потенциальную энергию, которая в момент выхода из почвы переходит в кинетическую энергию ударного воздействия по нижней части валка в зоне подбора, в результате чего могут наблюдаться (даже при рекомендованных кинематических режимах работы подборщика) потери зерна вымолотом [4, 5].

Это даёт основание выдвинуть гипотезу о том, что при работе подборщика основные потери зерна в зоне подбора при взаимодействии пальца подборщика с нижней частью валка, так как это взаимодействие носит ударный характер.

Учитывая вышеизложенное, поставлена *цель исследования* — повышение качества подбора валка полотняно-транспортёрным подборщиком.

*Объектом* исследования является зона подбора валка.

*Предмет исследования* — процесс взаимодействия пальцев полотняно-транспортёрного подборщика с нижней частью валка в зоне подбора.

*Научная задача исследования* — разработка способов сокращения потерь зерна за полотняно-транспортёрным подборщиком.

Для достижения указанной цели сформулированы следующие частные научные задачи:

1. Изучить технологический процесс подбора валка полотняно-транспортёрным подборщиком, в частности, кинематику движения пальцев подборщика на нижней ветви транспортёра при различных условиях эксплуатации.
2. Получить универсальную модель валка, позволяющую изучить процесс подбора валка во всех зонах взаимодействия пальцев подборщика с валком.
3. Теоретически исследовать процесс взаимодействия пальца подборщика с нижней частью валка в зоне подбора.
4. Математически описать влияние условий уборки на потери зерна вымолотом, определить адекватность модели.

**Изучение характера взаимодействия пальцев полотняно-транспортёрного подборщика с валком в зоне подбора.** В процессе решения первой частной задачи получена [6] траектория движения пальца полотняно-транспортёрного подборщика, находящегося на нижней ветви транспортёра при различных условиях работы подборщика.

Указанная траектория представлена на рис. 1.

В процессе подбора валка палец подборщика (который представляется одним зубцом) — отрезок *KM* — совершает поступательное движение *1* совместно с уборочной машиной и вращательное *2* с валом подборщика *5* (рис. 1). В том случае, если палец подборщика не контактирует с

почвой, траектория конца его пальца будет описываться трохоидой *3*. Если же палец контактирует с почвой (отрезок *КМ′*), то он деформируется и вид его траектории изменяется (положение *4*).

Положения пальца в разные моменты времени изображены прямолинейными отрезками, при этом верхние точки связаны с валом транспортёра. Условно можно сказать, что конечная точка пальца до соприкосновения его с почвой движется по трохоиде, затем, контактируя с почвой, — по прямой и после выхода из почвы — вновь по трохоиде.

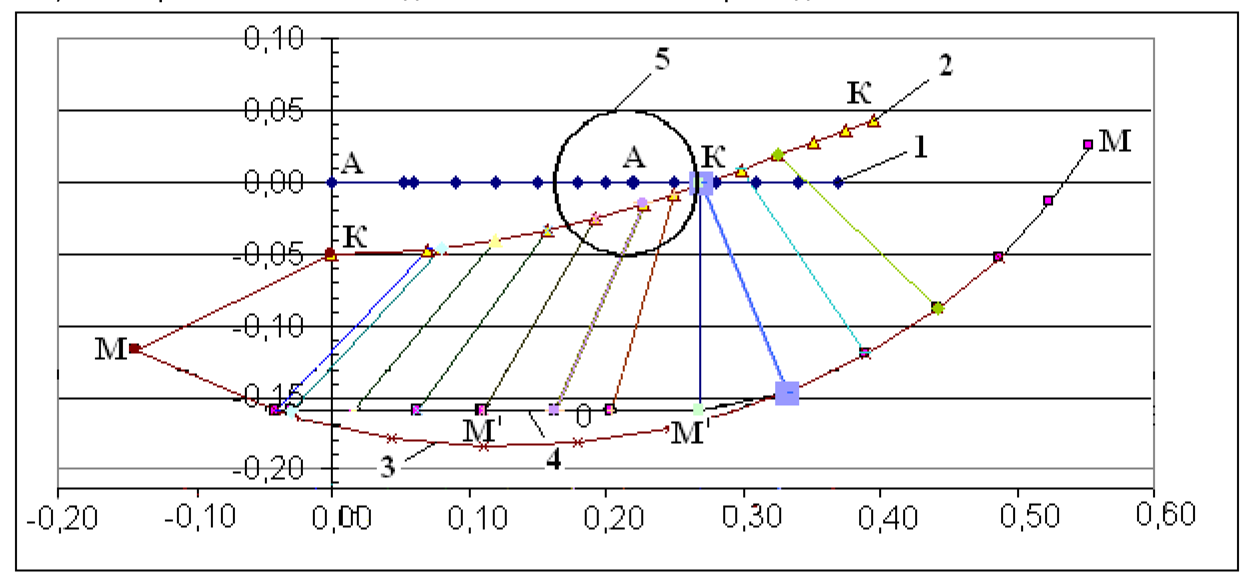



Рис. 1. Траектория движения пальца подборщика в процессе подбора валка

На рис. 1 (и последующих рисунках) деформированный палец изображён наклонным отрезком, так как при графическом построении соединяются прямой линией две концевые точки — точка *К* и точка *М′*.

В рамках решения второй частной задачи конфигурация нижней части валка представляется уравнением цепной линии [7], которое имеет вид

$$y(x) = a\left(\operatorname{ch}\frac{x-z}{a} - 1\right). \tag{1}$$

Здесь параметр *a* определён толщиной валка, а длина зоны провисания валка *z* получается численно, с учётом высоты «крепления» валка к валу подборщика.

Для реализации третьей задачи соединим валок с валом подборщика следующим образом.

Пусть валок имеет две концевые точки — точку *D* и точку *Z* (рис. 2). В соответствии с реальным положением валка в процессе подбора считаем, что в зоне подбора валок начинается в точке *D*, которая находится на валу подборщика, затем свисает вниз и в точке *Z* по касательной ложится на почву. Положение точки *D* выбрано так, что касательная в этой точке является одновременно касательной к валу подборщика и к свисающему валку [7].

Примем, что движение пальца начинается с положения *0—0*. В этом положении палец не испытывает деформации, так как не взаимодействует с почвой (рис. 2). Деформацией пальца, возникающей при прочёсывании стерни, пренебрегаем ввиду её малости по сравнению с деформацией пальца при контакте его с почвой. Начиная с положения *1—1* и вплоть до положения *8—8*, палец контактирует с почвой и находится в деформированном состоянии. Положение пальца *8—8* — это положение пальца в зоне подбора валка. В данном случае это граничное положение, характеризующее палец в момент выхода его из почвы.

Выходя из почвы (из положения *8—8*), палец выпрямляется, движется вперёд и вверх, совершая затухающие колебания относительно своего недеформированного положения *8—8′*. Если

на пути пальца препятствия в виде валка нет, то далее он проходит положение *8—8′*, которое имел бы при отсутствии взаимодействуя с почвой, и стремительно доходит до положения *8—8″* (рис. 3). Затем палец, вращаясь совместно с валом подборщика, поднимается наверх и совершает поступательное движение вперёд совместно с уборочной машиной.

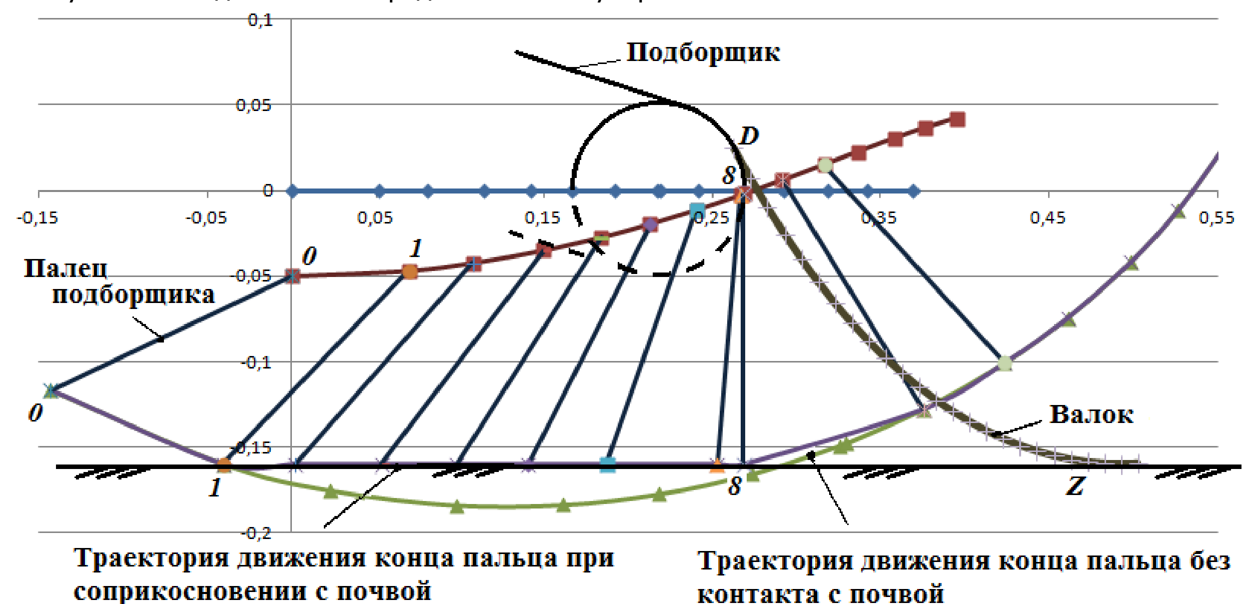



Рис. 2. Имитация процесса подбора валка

Однако на пути пальца, освободившегося от контакта с почвой, находится валок *I*. Накопленная пальцем в процессе деформации потенциальная энергия в момент его «выхода из почвы» переходит в кинетическую энергию ударного воздействия, и, как видно из рис. 3, освободившийся палец ударяет по валку *I* практически всей своей подбирающей частью. Следует отметить, что положение *8—8′* соответствует наибольшему ударному воздействию пальца по валку и вымолоту зерна.

Таким образом, можно констатировать, что ударная зона пальца по валку начинается с позиции пальца $8—8_к$ и заканчивается положением *8—8″*. На рис. 3 эта зона представлена тонированной.

С учётом поступательного движения комбайна ударная зона будет перемещаться вперёд и под ударом окажется валок, находящийся в положении *II*.

Для определения потенциальной энергии, накопленной пальцем к моменту «выхода» его из почвы, рассмотрим изменение величины деформации пальца от момента «контакта» с почвой до «выхода» его из почвы в зависимости от установки подборщика над почвой, причём чем ниже устанавливается подборщик, тем больше «углубление» пальцев в почву.

Предполагаем, что палец не углубляется в почву, а скользит по ней. «Глубину погружения» пальцев подборщика в почву варьируем от 0,7 до 3 см [4].

Процесс деформации пальца отображается изменением угла между пальцем подборщика и касательной к окружности вала, проведённой в точке крепления пальца к валу подборщика. Чем меньше это угол, тем больше деформация пальца [4].

Для получения численных расчётов приняты характеристики прототипа пружинного пальца полотняно-транспортёрного подборщика ППТЗ-А: длина пальца подборщика — 0,158 м; расстояние от центра вала до конца пальца — 0,185 м; угол наклона пальца к касательной в точке крепления — 25° [8].

В результате в работе [4] получены графики деформации пальца подборщика и накопленной им потенциальной энергии в зависимости от времени и положения установки подборщика над почвой, представленные на рис. 4.

Из полученных графиков, представленных на рис. 4, видно, что зависимости деформации и накопленной потенциальной энергии от времени имеют нелинейный и подобный характер.

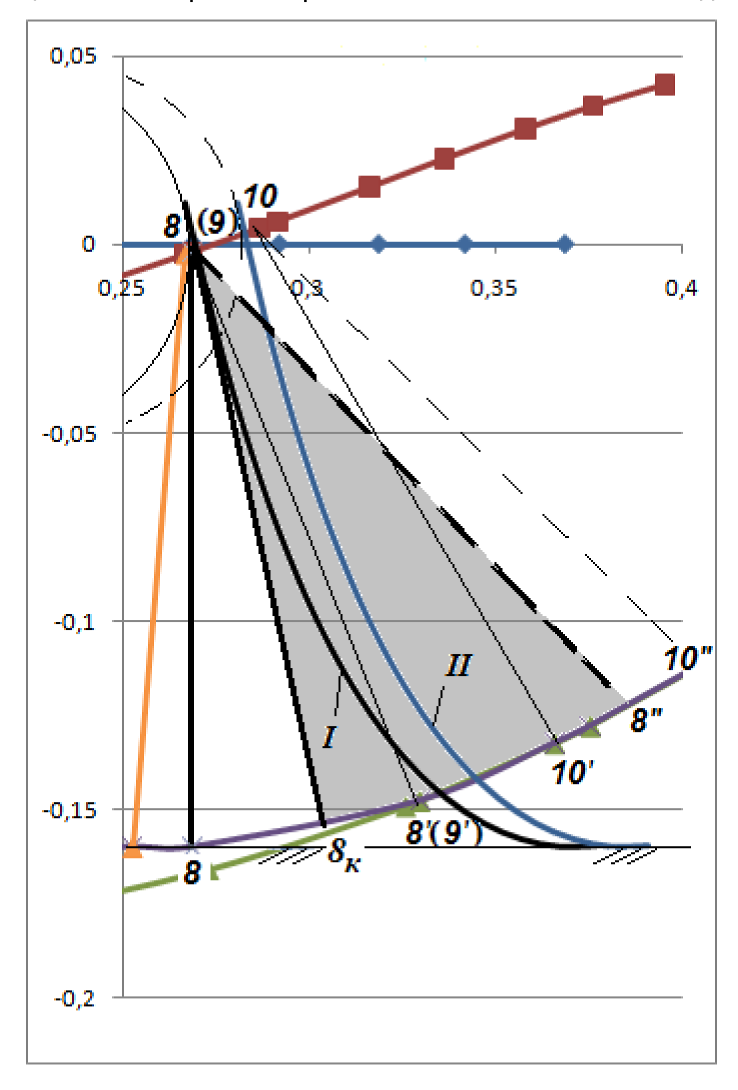
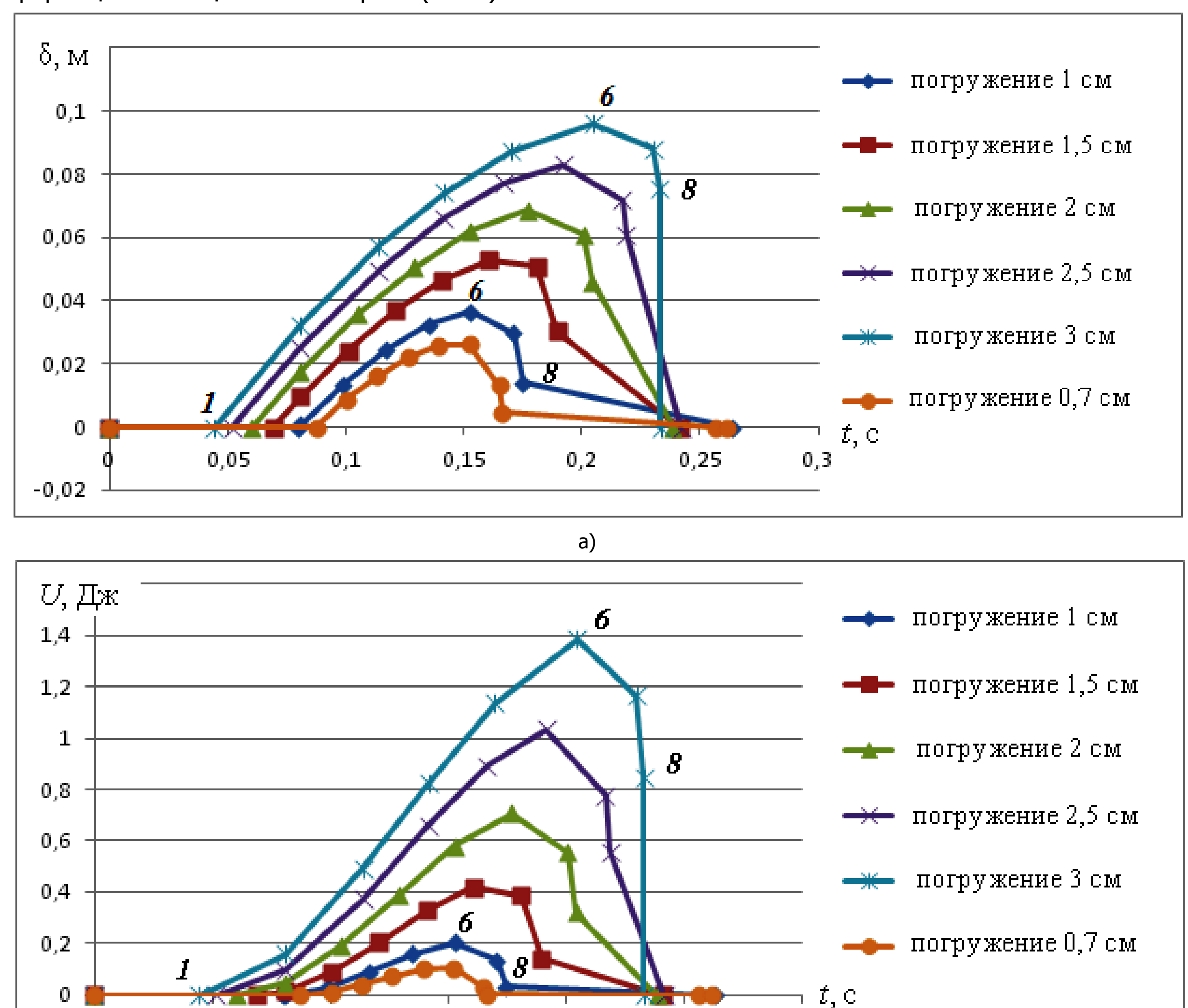



Рис. 3. Движение пальца подборщика в зоне подбора

Высота установки подборщика над почвой (т. е. степень деформирования пальцев) форму зависимостей практически не меняет, но влияет на величины рассматриваемых характеристик. С момента контакта пальца подборщика с почвой деформация пальца (и, соответственно, энергия) возрастает, достигая максимального значения в момент, предшествующий отрыву пальца от почвы (точка *6*, рис. 4). В момент выхода пальца из почвы деформация пальца (и энергия соответственно) несколько уменьшается за счёт вращательного движения вала подборщика и подъёма пальца вверх. К моменту выхода пальца из почвы (точка *8*, рис. 4) накопленная потенциальная энергия составляет некоторую часть от максимального значения.

Так, например, для «погружения» 0,7 см потенциальная энергия при «выходе пальца из почвы» (в точке *8*) равна 0,0032 Дж, а для «погружения» 1 см — 0,03 Дж.

В свою очередь, «глубину погружения» пальца в почву можно выразить через величину деформации пальцев подборщика и с учётом определённых математических преобразований получить зависимость скорости удара пальцев по колосьям от накопленной пальцем в процессе деформации потенциальной энергии (табл.).




б)

Рис. 4. Графики зависимости от времени и положения установки подборщика над почвой: а — деформации пальца подборщика, б — накопленной потенциальной энергии

### Зависимость скорости конечной точки *M* от накопленной пальцем в процессе деформации потенциальной энергии

| Глубина погружения, м | Потенциальная энергия, Дж | Круговая частота колебаний пальца, $с^{-1}$ | Период колебаний, с | Скорость конечной точки *M* пальца, м/с |
|---|---|---|---|---|
| 0,007 | 0,0032 | 13,14 | 0,478 | 1,50 |
| 0,010 | 0,0298 | 40,14 | 0,157 | 4,58 |
| 0,015 | 0,1390 | 86,65 | 0,073 | 9,88 |
| 0,020 | 0,3180 | 131,07 | 0,048 | 14,94 |
| 0,025 | 0,5580 | 173,53 | 0,036 | 19,78 |
| 0,030 | 0,8500 | 214,00 | 0,030 | 24,41 |

Следует отметить, что в реальных условиях почва не является абсолютно твёрдой, а прототип пальца подборщика ППТ-3А имеет конструктивные ограничения. Так, например, расстояние от точки крепления к полотну до конца пальца подборщика около 7 см, следовательно, деформации, равные или превышающие это значение, недопустимы. Более того, в силу механических свойств пальца подборщика значительными являются уже деформации порядка 3 см [5].

**Анализ потерь зерна за полотняно-транспортёрным подборщиком.** Для анализа потерь зерна за подборщиком рассмотрим результаты моделирования, соответствующие «погружению» пальца на 0,7 см и на 1 см. В этих случаях наибольшие деформации пальца не превышают 3,7 см.

Значение деформации при «погружении» в почву пальцев подборщика меньше, чем на 0,7 см, не учитывается, так как при данных условиях потенциальная энергия к моменту выхода пальца из почвы практически равна нулю.

Металлический пружинный палец, которым оснащён полотняно-транспортёрный подборщик, не способен к значительному рассеянию энергии, поэтому считаем, что вся накопленная пальцем в процессе деформации энергия будет расходоваться на удар.

Итак, как следует из табл., накопленная пальцем потенциальная энергия к моменту встречи его с валком составляет 0,0032—0,0298 Дж (скорость удара в этом случае от 1,5 до 4,6 м/с). В соответствии с характеристиками связи зерна с колосом полученные значения потенциальной энергии и скорости удара более чем достаточны для вымолота зерна, так как затраты на вымолот одного зерна в период уборки составляют порядка 0,003—0,015 Дж [9].

Определим численно потери зерна за полотняно-транспортёрным подборщиком. Для этого предположим, что одним пальцем, состоящим из сдвоенного зубца, за один контакт с нижней частью валка будет выбито минимум два зерна, и найдём наименьшие количественные потери зерна вымолотом его пальцами подборщика за уборочный период.

Считаем, что подборщиком подбирается валок, расположенный на почве, и все пальцы подборщика, находясь на нижней ветви транспортёра, контактируют с почвой и деформируются. Если принять коэффициент кинематического режима работы подборщика λ = 1,3, расстояние между рядами пальцев по ходу полотна 0,155 м, количество пальцев — 216 штук [8], то в этом случае линейная скорость транспортёра $V_{тр}$ = 0,35 м/с.

При данных условиях примерно через каждые 0,4 с последующий палец будет занимать место предыдущего, то есть через каждые 0,4 с происходит контакт пальца с валком, который носит ударный характер, в результате которого выбивается два зерна. Считаем, что в сутки комбайн работает 10 часов, тогда за это время пальцами подборщика, состоящими из сдвоенных зубцов, будет произведено 72 000 ударов и выбито минимум 144 000 зёрен. Принимаем абсолютный вес 1000 штук зерновых семян 30 г [10], тогда наименьшие потери за подборщиком составят 4,3 кг. За 10 уборочных дней — порядка 45 кг (а за 14 дней — 60 кг).

По данным СМИ, средняя урожайность по Южному региону в 2011 году составила порядка 30 ц/га. Допускаемые нормативные потери за подборщиком 0,5 % от выращенного урожая, следовательно, при указанной урожайности это порядка 15 кг. В нашем случае потери за подборщиком могут составить порядка 45—60 кг, что примерно в 3—4 раза превышает нормативные при указанной урожайности.

**Заключение.** Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что для сокращения потерь зерна за полотняно-транспортёрным подборщиком (впрочем, как и за любым другим типом подборщика) необходимо уменьшать ударное воздействие пальцев по нижней части валка, возникающее вследствие деформации пальцев. Это можно реализовать, если понизить величину накопленной в процессе деформации пальца потенциальной энергии или ограничить движение пальца в ударной зоне.

**Библиографический список**

1. Лесняк, О. Н. Анализ причин возникновения потерь урожая зерновых культур / О. Н. Лесняк // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 14-й Междунар. агропромышленной выставки «Интерагромаш-2011» (г. Ростов-на-Дону, ВЦ «ВертолЭкспо» 2—3 марта 2011 г.). — Ростов-на-Дону, 2011. — 430 с.

2. Комарова, М. К. Борьба с потерями зерновых колосовых / М. К. Комарова, В. И. Недовесов. — Москва: Россельхозиздат, 1975. — 160 с.

3. Каскулов, М. Х. Проблемы уменьшения потерь зерна при уборке зерновых культур / М. Х. Каскулов, Ю. А. Шекихачев, М. Н. Малухов // Вопросы сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. — Москва, 1988. — 143 с.

4. Красноступ, С. М. Анализ влияния условий подбора на характер потерь зерна за полотняно-транспортёрным подборщиком / С. М. Красноступ, О. Н. Лесняк, А. Д. Азаров // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., 26—29 марта 2008 г. / Ростовская гос. академия сельхозмашиностроения. — Ростов-на-Дону, 2008. — 323 с.

5. Красноступ, С. М. К вопросу о влиянии механических свойств пальцев подборщика на потери зерна / С. М. Красноступ, О. Н. Лесняк, А. Д. Азаров // Современные инновационные технологии в сельскохозяйственном машиностроении: мат-лы межрегион. науч.-практ. конф., 28—31 марта / Ростовская гос. академия сельхозмашиностроения. — Ростов-на-Дону, 2007.

6. Красноступ, С. М. Анализ кинематики движения пальца полотняно-транспортёрного подборщика в зоне подбора валка / С. М. Красноступ, О. Н. Лесняк, А. Д. Азаров // Новые технологии, конструкции и процессы производства: сб. науч. тр. / Ростовская гос. академия сельхозмашиностроения. — Ростов-на-Дону, 2008. — 182 с.

7. Лесняк, О. Н. Новые представления о форме валка в процессе подбора его подборщиком / О. Н. Лесняк, С. М. Красноступ, А. Д. Азаров // Новые технологии, конструкции и процессы производства / Ростовская гос. академия сельхозмашиностроения. — Ростов-на-Дону, 2008. — 182 с.

8. Подборщик полотняно-транспортный ППТ-3 / Северо-Кавказский межотраслевой центр научно-технической информации. Завод Миллеровосельмаш. — 1975. — 36 с.

9. Клёнин, Н. И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н. И. Клёнин, В. А. Сакун. — Москва: Колос, 1994. — 751 с.

10. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: в 4 т. / под ред. М. И. Клёцкина. — Изд. 2-е. — Москва: Машиностроение, 1967—1969. — 536—830 с.

Материал поступил в редакцию 09.12.2011.

**References**

1. Lesnyak, O. N. Analiz prichin vozniknoveniya poter` urozhaya zernovy`x kul`tur / O. N. Lesnyak // Sostoyanie i perspektivy` razvitiya sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya: mat-ly` 4-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkax 14-j Mezhdunar. agropromy`shlennoj vy`stavki «Interagromash-2011» (g. Rostov-na-Donu, VCz «VertolE`kspo» 2—3 marta 2011 g.). — Rostov-na-Donu, 2011. — 430 s. — In Russian.

2. Komarova, M. K. Bor`ba s poteryami zernovy`x kolosovy`x / M. K. Komarova, V. I. Nedovesov. — Moskva: Rossel`xozizdat, 1975. — 160 s. — In Russian.

3. Kaskulov, M. X. Problemy` umen`sheniya poter` zerna pri uborke zernovy`x kul`tur / M. X. Kaskulov, Yu. A. Shekixachev, M. N. Maluxov // Voprosy` sel`skoxozyajstvennogo proizvodstva: sb. nauch. tr. — Moskva, 1988. — 143 s. — In Russian.

4. Krasnostup, S. M. Analiz vliyaniya uslovij podbora na xarakter poter` zerna za polotnyano-transportyorny`m podborshhikom / S. M. Krasnostup, O. N. Lesnyak, A. D. Azarov // Sostoyanie i perspektivy` razvitiya sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya: mat-ly` mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 26—29 marta 2008 g. / Rostovskaya gos. akademiya sel`xozmashinostroeniya. — Rostov-na-Donu, 2008. — 323 s. — In Russian.

5. Krasnostup, S. M. K voprosu o vliyanii mexanicheskix svojstv pal`cev podborshhika na poteri zerna / S. M. Krasnostup, O. N. Lesnyak, A. D. Azarov // Sovremenny`e innovacionny`e texnologii v sel`skoxozyajstvennom mashinostroenii: mat-ly` mezhregion. nauch.-prakt. konf., 28—31 marta / Rostovskaya gos. akademiya sel`xozmashinostroeniya. — Rostov-na-Donu, 2007. — In Russian.

6. Krasnostup, S. M. Analiz kinematiki dvizheniya pal`cza polotnyano-transportyornogo podborshhika v zone podbora valka / S. M. Krasnostup, O. N. Lesnyak, A. D. Azarov // Novy`e texnologii, konstrukcii i processy` proizvodstva: sb. nauch. tr. / Rostovskaya gos. akademiya sel`xozmashinostroeniya. — Rostov-na-Donu, 2008. — 182 s. — In Russian.

7. Lesnyak, O. N. Novy`e predstavleniya o forme valka v processe podbora ego podborshhikom / O. N. Lesnyak, S. M. Krasnostup, A. D. Azarov // Novy`e texnologii, konstrukcii i processy` proizvodstva / Rostovskaya gos. akademiya sel`xozmashinostroeniya. — Rostov-na-Donu, 2008. — 182 s. — In Russian.

8. Podborshhik polotnyano-transportny`j PPT-3 / Severo-Kavkazskij mezhotraslevoj centr nauchno-texnicheskoj informacii. Zavod Millerovosel`mash. — 1975. — 36 s. — In Russian.

9. Klyonin, N. I. Sel`skoxozyajstvenny`e i meliorativny`e mashiny` / N. I. Klyonin, V. A. Sakun. — Moskva: Kolos, 1994. — 751 s. — In Russian.

10. Spravochnik konstruktora sel`skoxozyajstvenny`x mashin: v 4 t. / pod red. M. I. Klyoczkina. — Izd. 2-e. — Moskva: Mashinostroenie, 1967—1969. — 536—830 s. — In Russian.

## STUDY ON INTERACTION NATURE OF CANVAS CONVEYER PICK-UP FINGERS WITH ROLL IN PICKUP ZONE

**S. M. Krasnostup, O. N. Lesnyak**
(Don State Technical University),
**A. D. Azarov**
(Research Institute of Mechanics and Applied Mathematics, Southern Federal University)

*For the purpose of revealing the causes of grain loss after the canvas conveyer pick-up with roll, the interaction nature of its fingers in the pickup zone is determined. It is observed that the basic losses after the picker in the pickup zone of the roll are caused by its deformed fingers. The dependence of the grain loss on the deformation of picker's fingers has been established.*
***Keywords:*** *canvas conveyer pick-up, roll, finger deformations, potential energy, grain threshing.*

УДК 631.354.2.076-52

## Многопараметрическая система адаптивного управления зерноуборочным комбайном

**Д. Я. Паршин, Д. Г. Шевчук**
(Донской государственный технический университет)

*Рассматриваются основные внешние воздействия на зерноуборочный комбайн и их влияние на характер движения и уборки. Предлагается многопараметрический метод адаптивного управления зерноуборочным комбайном и реализующий его алгоритм. Рассматриваются структура и взаимосвязь элементов адаптивной системы управления комбайном.*
***Ключевые слова:*** *зерноуборочный комбайн, адаптивное управление, внешние воздействия, алгоритм управления.*

**Введение.** Основное условие эффективного использования зерноуборочного комбайна (ЗК) — оптимальная загрузка его рабочих органов и двигателя в соответствии с условиями работы, характеризующимися значительными изменениями параметров внешней среды (главные из них — урожайность культуры, её физико-механические свойства, траектория движения и условия передвижения машины) [1]. В связи с этим производители ЗК оснащают машину различными системами автоматического управления загрузкой рабочих органов и траекторией движения. Несмотря на достаточно большое количество разработанных систем автоматического управления сельскохозяйственными процессами, лишь немногие из них выпускаются серийно, удовлетворяют агротехническим требованиям и имеют практическую значимость. Это вызвано сложностью непосредственного измерения регулируемой величины, значительным временем её транспортного запаздывания и множеством взаимосвязанных внешних воздействий, влияющих на траекторию и скорость движения машины, качество технологического процесса.

**Постановка задачи автоматизации управления.** Для оптимизации технологического процесса необходимо обеспечить автоматизацию вождения комбайна по заданной траектории и регулирование загрузки молотильно-сепарирующего устройства (МСУ). Ввиду большого количества внешних воздействий, влияющих на режим работы комбайна, максимальная производительность при минимальных потерях зерна возможна только при адаптивных принципах управления машиной. Для построения законов адаптивного управления зерноуборочным комбайном машину необходимо представить как объект автоматического управления, выявить взаимосвязи между её основными переменными, разработать структуру системы и алгоритмы адаптивного управления. В статье рассматривается многопараметрический метод адаптивного управления комбайном РСМ-181 Torum 740 и реализующий его алгоритм.

**Зерноуборочный комбайн как объект автоматического управления** представляет сложную динамическую систему (рис. 1), на вход которой поступает вектор управляющих воздействий $\vec{U}$, включающий изменение подачи топлива в двигатель $n_д(t)$, угол поворота управляемых колёс

$\alpha_{к}(t)$ и давление в гидросистеме объёмного привода ходовой части (ГСТ) $n_{х}(t)$. Вектор возмущающих воздействий $\vec{F}$ включает урожайность $Q(t)$, состояние растительной массы $\omega(t)$ (влажность, соломистость, засорённость), сопротивление движению $R(t)$ и изменение траектории ориентации $f(t)$. Взаимодействие между отдельными рабочими органами комбайна описывается вектором внутренних связей $\vec{D}$, включающим подачу растительной массы $q_{р}(t)$, ширину рабочего захвата жатки $B(t)$ и параметр $\gamma_{м}(t)$, характеризующий загрузку МСУ. Выходные переменные представляют собой вектор $\vec{Y}$, включающий суммарные потери зерна $П(t) = П_{м}(t) + П_{с}(t)$, состоящие из потерь в молотильно-сепарирующем устройстве $П_{м}(t)$ и в системе очистки, скорость движения $v_{к}(t)$, загрузку двигателя $\gamma_{д}(t)$, отклонение от базовой линии $s(t)$ и курсовой угол $\varphi(t)$. Причём величины $s(t)$ и $\varphi(t)$, характеризующие точность движения комбайна относительно траектории ориентации, влияют на ширину рабочего захвата жатки $B(t)$, и, как следствие, на подачу растительной массы $q_{р}(t)$ в молотильно-сепарирующее устройство.

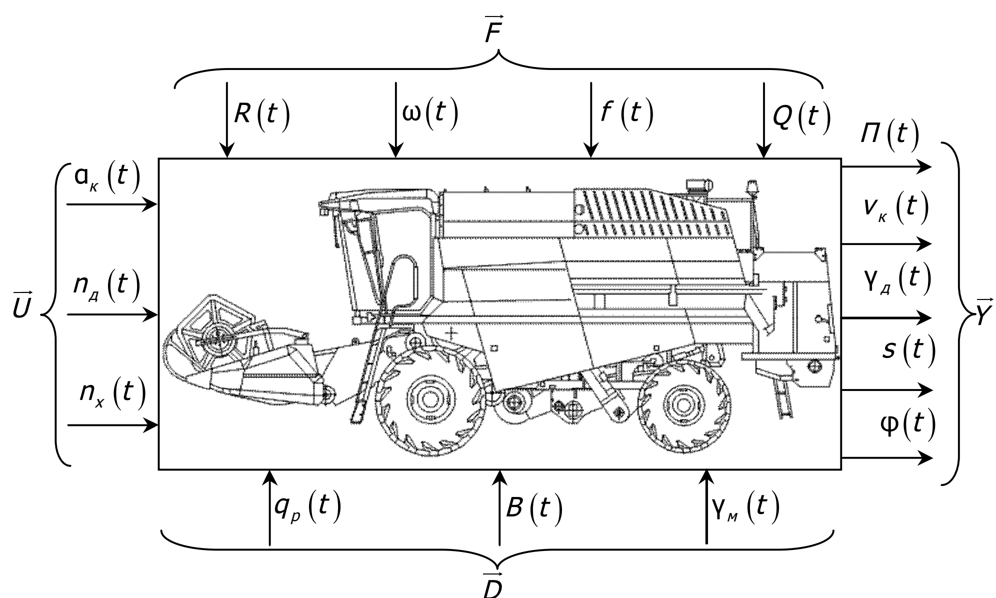



Рис. 1. Основные переменные зерноуборочного комбайна

Зерноуборочный комбайн как многомерную динамическую систему с множеством внутренних и внешних взаимосвязей можно представить в виде графа взаимосвязей переменных, приведённом на рис. 2.

Состояние машины как многомерного объекта управления в любой момент времени описывается системой уравнений вида:

$$\begin{cases} \vec{U} = \{\alpha_{к}(t), n_{х}(t), n_{д}(t)\}; \\ \vec{F} = \{R(t), \alpha(t), f(t), Q(t)\}; \\ \vec{D} = \{q_{р}(t), B(t), \gamma_{м}(t)\}; \\ \vec{Y} = \{v_{к}(t), s(t), \varphi(t), \gamma_{д}(t), П(t)\}. \end{cases}$$

Большинство существующих моделей комбайнов как объектов управления основаны на том, что ряд возмущающих воздействий $B(t)$, $\omega(t)$, $f(t)$, $R(t)$ рассматриваются как постоянные величины. Кроме того, скорость движения $v_к(t)$ комбайна также задаётся постоянной. Однако в реальных условиях они являются переменными, имеют статистическую природу и оказывают значительные воздействия на качественные и количественные показатели работы ЗК (рис. 2). Для решения задачи управления траекторным движением и оптимизации загрузки молотильно-сепарирующего устройства разработан многопараметрический метод адаптивного управления комбайном, отличительной особенностью которого является рассмотрение всех внешних воздействий как переменных величин, имеющих случайный характер, а также представление переменными взаимосвязей основных параметров технологического процесса.

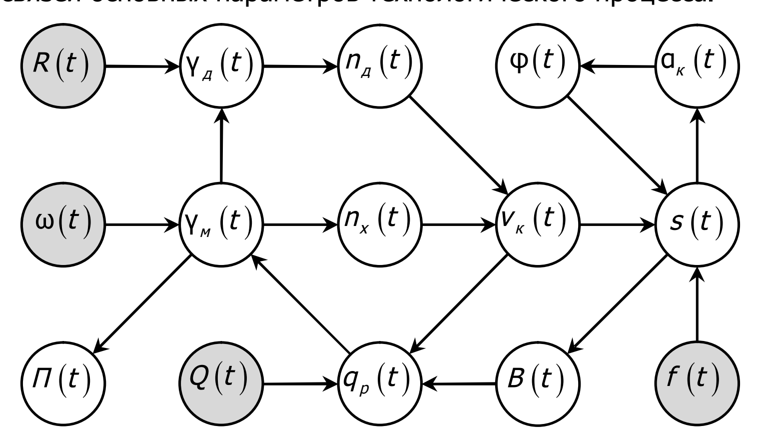



Рис. 2. Граф взаимосвязей переменных ЗК

**Многопараметрический метод адаптивного управления.** Структура адаптивной системы управления зерноуборочным комбайном включает следующие взаимосвязанные подсистемы: технологическую, информационную, систему связи и управления (рис. 3). Технологическая система состоит из узлов комбайна, обеспечивающих выполнение основных операций технологического процесса: передвижение машины, сбор растительной массы, её обмолот, сепарацию и очистку. Информационная система включает базу данных (БД) технологических параметров, комплекс датчиков, встроенных в элементы технологической системы, интерфейса связи с оператором и преобразователя информации. В базе данных хранится информация, необходимая для построения и коррекции управляющих программ, а блок обработки выполняет преобразование сигналов, полученных от комплекса датчиков, БД и интерфейса связи с оператором для вычислений бортовым микроконтроллером параметров управления.

Система управления служит для программирования и управления работой технологической системы, а также для контроля качества выполнения процесса. Она реализуется на базе комплекса исполнительных устройств (ИУ) и бортового микроконтроллера, в состав которого входят блок управления траекторией движения, блок адаптации и анализатор сочетаний. В блоке

управления траекторией движения комбайна реализуется двухконтурный алгоритм управления по линейному отклонению $s$ и курсовому углу φ [2]. Информация об отклонении $s$ поступает с лазерного сканера (сигнал $Д_s$), установленного на краю жатки, а значение курсового угла φ измеряется гироскопом (сигнал $Д_φ$). Такое расположение и выбор датчиков позволяет получать ориентационную информацию с минимальным временем транспортного запаздывания (τ ≈ 0,1 с), высокой точностью $(\pm 5 \text{ см})$ и обеспечить адаптивность к реальным координатам базовой линии.

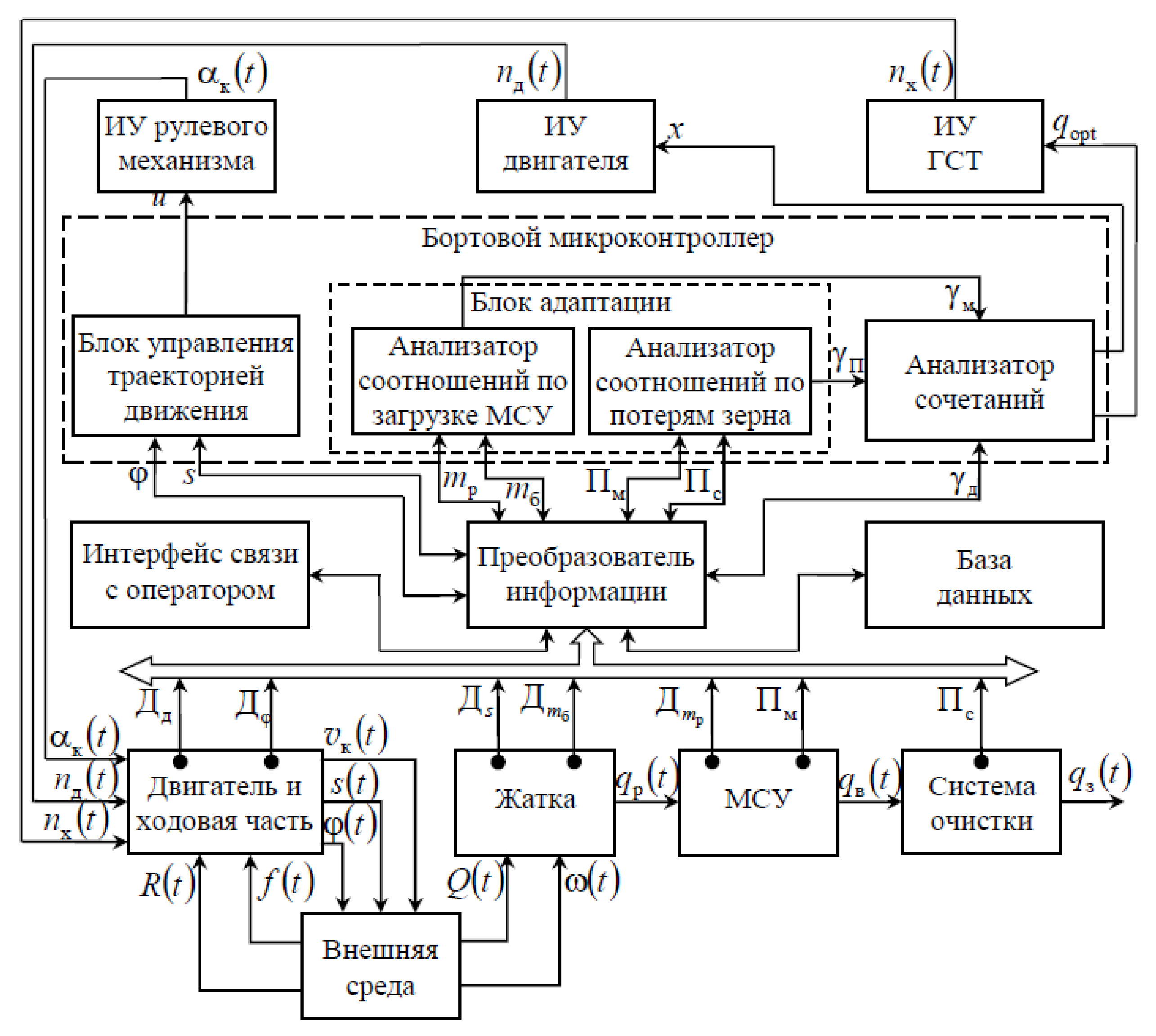



Рис. 3. Структурная схема системы адаптивного управления зерноуборочным комбайном

В состав блока адаптации входят анализаторы соотношений по загрузке МСУ и по потерям зерна. Анализатор соотношений по загрузке молотильно-сепарирующего устройства использует информацию о крутящем моменте на валу приёмного битера наклонной камеры $m_б$ и ротора МСУ $m_р$. Такой выбор параметра регулирования обоснован тем, что крутящий момент сильно корре-

лирован с подачей ($\approx 0,8$) и физико-механическими свойствами растительной массы (0,75—0,82). Кроме того, имеет место малое транспортное запаздывание (т ≈ 0,5 с). Анализатор соотношений по потерям зерна использует информацию, полученную с помощью пьезоэлектрических датчиков потерь за молотильно-сепарирующим устройством — $П_м$ и за системой очистки — $П_с$.

Анализаторы соотношений блока адаптации определяют градиенты поиска оптимальных настроек $\gamma_м$ и $\gamma_П$ по соотношению информативных сигналов $m_б$, $m_р$, $П_м$, $П_с$ и информации из базы данных о допустимых параметрах регулирования технологического процесса $m_{б.д}$, $m_{р.д}$, $П_{м.д}$, $П_{с.д}$

$$\gamma_м = \begin{cases} 1 \quad \text{при} \quad \dfrac{m_б}{m_р} < \dfrac{m_{б.д}}{m_{р.д}}; \\ 0 \quad \text{при} \quad \dfrac{m_б}{m_р} = \dfrac{m_{б.д}}{m_{р.д}}; \\ -1 \quad \text{при} \quad \dfrac{m_б}{m_р} > \dfrac{m_{б.д}}{m_{р.д}}, \end{cases} \qquad \gamma_П = \begin{cases} 0 \quad \text{при} \quad \dfrac{П_м}{П_с} \le \dfrac{П_{м.д}}{П_{с.д}}; \\ -1 \quad \text{при} \quad \dfrac{П_м}{П_с} = \dfrac{П_{м.д}}{П_{с.д}}. \end{cases}$$

Анализатор сочетаний определяет оптимальные настройки загрузки молотильно-сепарирующего устройства $q_{opt}$ и двигателя $x$:

$$q_{opt} = \frac{\gamma_м}{\gamma_П}; \quad x = \frac{\gamma_м}{\gamma_д},$$

в которых в качестве параметра регулирования двигателя используется крутящий момент коленчатого вала $\gamma_д$, измеряемый датчиком (сигнал $Д_д$).

Управление траекторией движения комбайна обеспечивается исполнительным устройством рулевого механизма, которое формирует управляющее воздействие $u$ на рулевую трапецию. В результате этого воздействия управляющие колёса поворачиваются на угол $\alpha_к(t)$. Управляющие воздействия $n_д(t)$ и $n_x(t)$, обеспечивающие движение системы к оптимальным настройкам рабочих органов молотильно-сепарирующего устройства и двигателя комбайна, формируются исполнительными устройствами ГСТ и двигателя с помощью алгоритма адаптивного управления.

**Алгоритм адаптивного управления комбайном.** Анализаторы соотношений по загрузке МСУ и по потерям зерна формируют выходные сигналы +1, 0, −1 о возможности повышения, необходимости сохранения или снижения загрузки контролируемого органа. Анализатор сочетаний формирует выходные сигналы на изменение ($+y$, $-y$) или сохранение ($y_0$) режима работы, и на изменение номиналов настройки ($+H$, $-H$):

$$\begin{cases} \gamma_{Д} = -1 \Rightarrow x = -y; \\ \gamma_{П} = -1 \Rightarrow q_{opt} = -H; \\ \gamma_{П} = 0 \wedge \gamma_{м} = -1 \Rightarrow q_{opt} = -H; \\ \gamma_{м} = \gamma_{Д} = \gamma_{П} = -1 \Rightarrow x = -y \wedge q_{opt} = -H; \\ \gamma_{м} = \gamma_{Д} = +1 \wedge \gamma_{П} = 0 \Rightarrow x = +y \wedge q_{opt} = +H; \\ \left(\gamma_{Д} = +1 \vee \gamma_{Д} = 0\right) \wedge \gamma_{м} = \gamma_{П} = 0 \Rightarrow x = y_0; \\ \left(\gamma_{м} = +1 \wedge \gamma_{П} = 0\right) \wedge \left(\gamma_{Д} = +1 \vee \gamma_{Д} = 0\right) \Rightarrow q_{opt} = +H. \end{cases}$$

При этом оптимальные настройки и режимы работы определяют путём минимизации целевой функции вида:

$$C_П = \int_0^1 F\left[R(\eta) \cdot П(\eta) \cdot \eta\left(\delta\left(Q(S)\right) \cdot \omega(S)\right) \cdot C_1\right] dS,$$

где $C_П$ — обобщённый критерий, характеризующий приведённые затраты на уборку; $R(\eta)$ — зависимость приведённых затрат на работу агрегата от коэффициента $\eta$ использования пропускной способности комбайна; $П(\eta)$ — зависимость потерь урожая от коэффициента $\eta$ как фактора, оказывающего влияние на продолжительность уборки; $\eta\left(\delta\left(Q(S)\right) \cdot \omega(S)\right)$ — зависимость коэффициента $\eta$ от среднеквадратического отклонения $\delta$ урожайности $Q$ и изменений физико-механических свойств $\omega$ убираемой культуры на участке поля площадью $S$; $C_1$ — стоимость единицы массы собранного урожая.

**Выводы.** На основании разработанного многопараметрического метода адаптивного управления и алгоритма, его реализующего, построена математическая модель САУЗК. Модель реализована в системе Matlab Simulink с использованием библиотеки SimDriveline. Результаты моделирования при различных внешних воздействиях показали, что реализация системы адаптивного управления зерноуборочного комбайна позволит увеличить точность движения машины по траектории ориентации более чем на 50 %, обеспечив ошибку позиционирования, не превышающую 10 см. Кроме того, использование предложенных адаптивных алгоритмов стабилизирует загрузку молотильно-сепарирующего устройства (ошибка не превышает 0,01 кг/м$^2$) и обеспечивает снижение потерь в МСУ и системе очистки на 25 %. Внедрение адаптивного управления значительно разгружает оператора, способствует концентрации его внимания на параметрах выполнения процесса, способствует увеличению фактической производительности агрегата в среднем на 15 %, повышает качество выполнения уборочных работ в целом.

**Библиографический список**

1. Шевчук, Д. Г. Особенности автоматизации управления сельскохозяйственными машинами / Д. Г. Шевчук // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. 2—3 марта 2011 г. — Ростов-на-Дону, 2011. — С. 241—244.

2. Паршин, Д. Я. Математическая модель системы автоматического вождения зерноуборочного комбайна / Д. Я. Паршин, Д. Г. Шевчук // 4-я Всерос. мультиконф. по проблемам управления. Т. 2. — Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. — С. 385—387.

Материал поступил в редакцию 13.12.2011.

**References**

1. Shevchuk, D. G. Osobennosti avtomatizacii upravleniya sel`skoxozyajstvenny`mi mashinami / D. G. Shevchuk // Sostoyanie i perspektivy` razvitiya sel`skoxozyajstvennogo mashinostroeniya: mat-ly` mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2—3 marta 2011 g. — Rostov-na-Donu, 2011. — S. 241—244. — In Russian.

2. Parshin, D. Ya. Matematicheskaya model` sistemy` avtomaticheskogo vozhdeniya zernouborochnogo kombajna / D. Ya. Parshin, D. G. Shevchuk // 4-ya Vseros. mul`tikonf. po problemam upravleniya. T. 2. — Taganrog: Izd-vo TTI YuFU, 2011. — S. 385—387. — In Russian.

## MULTIPARAMETER ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF GRAIN COMBINE

**D. Y. Parshin, D. G. Shevchuk**
(Don State Technical University)

*The basic exposure for the grain combine, and its effect on the motion pattern and combining are considered. The technique and algorithm of the multiparameter adaptive control of grain combine are proposed. The structure and adaptive control system elements interconnection of grain combine are observed.*
***Keywords:*** *grain combine, adaptive control, exposures, control algorithm.*

УДК 531:62-251

## Проектная отстройка критических скоростей ротационных агрегатов машин

**О. О. Полушкин, О. А. Полушкин**
(Донской государственный технический университет)

*Представлены оригинальная методика и реализующий её на ЭВМ алгоритм разнесения (удаления друг от друга) эксплуатационных и критических скоростей вращения проектируемого ротационного агрегата (отстройка критических частот). Его использование исключает возможность появления в работе машин значительных упругих деформаций оси и обусловленных этим дисбалансов агрегата, снижает трудозатраты его балансировки при гарантированном обеспечении её качества.*
***Ключевые слова:*** *ротор, проектирование, критическая скорость, отстройка.*

**Введение.** Реальные ротационные агрегаты (роторы) машин имеют конечную изгибную жёсткость своей оси, что предопределяет наличие у каждого из них множество $k = 1, 2, \ldots, n, \ldots$ критических скоростей $\omega_{крk}$ вращения. При близких или совпадающих значениях эксплуатационной ($\omega_э$) и любой из критических скоростей вращения теоретически неограниченно растёт упругий изгиб оси ротора по $k$-й собственной форме и связанные с этим дисбалансы ротора, приводящие к аварийным ситуациям и потому недопустимые в эксплуатации машин. В этих случаях предпочтительными при создании ротационных агрегатов являются не поиски методов и средств их балансировки (она будет иметь очень высокую стоимость, крайне малую эффективность), а поиск иных способов и средств ликвидации отмеченных явлений.

Такие средства оказываются эффективными и в случаях, когда проектные расчёты по алгоритму классификации роторов по признаку «гибкость» [1] выявили принадлежность создаваемого агрегата к классу квазигибких роторов. В сравнении с балансировкой жёстких и квазижёстких роторов, балансировка квазигибких требует более сложного, а значит, и более дорогостоящего оборудования, её трудоёмкость значительно выше. Последние обстоятельства заставляют проектировщиков корректировать конструкцию создаваемого агрегата так, чтобы из класса квазигибких она попала в класс квазижёстких роторов.

**Постановка задачи.** Решение отмеченных задач осуществляется отстройкой критических частот, которая сводится к разнесению (удалению друг от друга) эксплуатационных ($\omega_{э\max}$) и критических ($\omega_{крk}$, $k = 1, \ldots, n$) скоростей вращения проектируемого агрегата. Это может осуществляться двумя способами:

- уменьшение эксплуатационной скорости $\omega_{э\max}$;
- увеличение $\omega_{крk}$,

возможно и совместное использование этих способов.

Реализация первого способа не всегда представляется возможной, поскольку эксплуатационная скорость $\omega_э$ вращения проектируемого агрегата регламентируется показателями работоспособности и качества функционирования как этого агрегата, так и машины в целом. Как правило, снижение $\omega_э$ ведёт к снижению уровня отмеченных показателей.

Второй способ является предпочтительным. Его реализация основана на использовании оригинальной механико-математической модели неуравновешенности ротора, разработанной в [1].

**Решение задач.** Рассмотрим типичный двухопорный ротационный агрегат, представляющий из себя несущую основу (в виде трубы круглого сечения), испытывающую при вращении изгибные

деформации оси от действия неуравновешенности, на которой установлены (жёстко или шарнирно) рабочие элементы (резаки, ножи, молотки или т. п.) Динамическую модель этого агрегата представляем в виде однородной исходно изогнутой на межопорном расстоянии пространственной линии, которая раскладывается по собственным формам изгиба в различных плоскостях, содержащих ось вращения агрегата [2].

Решим сначала задачу для агрегата, который балансируется по первой ($k = 1$) собственной форме изгиба и по результатам расчётов отнесён к классу ($G = 4$) гибких роторов. При этом для него выполняется условие [1]

$$\omega_э > 8,57 \cdot \sqrt{\frac{EJ}{ml^3}}, \tag{1}$$

где $E$ — модуль упругости материала несущей основы агрегата, Па; $J$ — момент инерции сечения этой основы, м$^4$; $l$ — расстояние между опорами ротора, м; $m$ — масса ротора, кг:

$$m = F\gamma l + m_{рэ}, \tag{2}$$

в котором $F$ — площадь сечения упруго деформируемой основы агрегата, м$^2$; $\gamma$ — плотность материала этой основы, кг/м$^3$; $m_{рэ}$ — масса всех рабочих элементов агрегата, установленных на этой основе, кг.

Рассматривая противоположное (1), получили условие возможности рассмотрения вопросов балансировки проектируемого агрегата не как гибкого ($G = 4$), а как квазигибкого ($G = 3$) ротора в виде

$$J \geq 0,01\frac{\left(F\gamma l + m_{рэ}\right)l^3}{EA}, \quad A = \frac{0,734}{\omega^2_{э\max}}. \tag{3}$$

Имея заданными значения $\gamma$, $l$, $m_{рэ}$, $E$, $\omega_{э\max}$, известными методами сопротивления материалов находятся геометрические характеристики $J$, $F$ сечения упруго деформируемой основы агрегата, обеспечивающие выполнение условия (3). По ним подбираются размеры этого сечения и вносятся изменения в конструкцию агрегата (если это не противопоказано по иным соображениям).

Решение задачи отстройки критической частоты для перевода проектируемого агрегата из класса квазигибких ($G = 3$) в класс квазижёстких ($G = 2$) при неизменном $\omega_{э\max} < \omega_{кр1}$ производится также увеличением изгибной жёсткости упруго деформируемой основы агрегата.

Предельными условиями, сформулированными в [1] для обоснования возможности отнесения проектируемого агрегата к классу $G = 2$, будем считать допустимость его динамической балансировки по традиционной технологии на типовом балансировочном оборудовании со скоростью $\omega_б = \omega_{б\max}$, допускаемой этим оборудованием, в двух плоскостях коррекции, отстающих от опор на расстояниях $A = C = 0,3l$, с точностью $D_{доп} = 0,4D_{ст\ доп}$, где $D_{ст\ доп} = \frac{[e\omega]}{\omega_{э\max}}m$ — допустимое значение главного вектора дисбалансов, определяемое с помощью максимального значения критерия $[e\omega]$ качества балансировки для рекомендованного по МС ИСО 1940 [3] класса точности балансировки этого агрегата.

С приведением сбалансированного таким образом агрегата во вращение с максимальной эксплуатационной скоростью $\omega_{б\max} < \omega_{э\max} < \omega_{кр1}$ возникает главный вектор дисбалансов $D^{(\omega_э)}_{и1б}$ от упругого прогиба оси, определённый по [1] как

$$\overline{D}^{(\omega_э)}_{и1б} = \frac{5}{8}m\overline{y}_{1\max}\left(\frac{1}{1-a_{1э}} - \frac{1}{1-a_{1б}} \cdot \frac{1+b_э}{1+b_б}\right), \tag{4}$$

где $\overline{y}_{1\max}$ — стрела исходного неупругого искривления оси ротора по 1-й собственной форме изгиба, предельное значение которой для рассматриваемой несущей основы из трубы по ГОСТ Р 8732 составляет $y_{1\max} = 0,75l$, м; $a_{1э} = \beta_1\omega_э^2$; $a_{1\delta} = \beta_1\omega_\delta^2$; $b_э = 1,03\beta_1\omega_э^2$; $b_\delta = 1,03\beta_1\omega_\delta^2$, в которых

$$\beta_1 = \omega_{кр1}^{-2} = 0,01\frac{ml^3}{EJ}. \qquad (5)$$

Значение главного вектора $D_{ост}^{(\omega_э)}$ остаточных дисбалансов такого агрегата на скорости $\omega_э = \omega_{э\max}$ его вращения в пределе составит

$$\overline{D}_{ост}^{(\omega_э)} = \overline{D}_{ост}^{(\omega_\delta)} + \overline{D}_{и1\delta}^{(\omega_\delta)}, \qquad (6)$$

в котором $\overline{D}_{ост}^{(\omega_\delta)}$ — главный вектор остаточных дисбалансов ротора после его балансировки на скорости $\omega_{\delta\max}$.

Проведённая балансировка квазигибкого ротора как квазижёсткого будет качественной, если $D_{ост}^{(\omega_э)} \le D_{ст\ доп}$, или с учётом (6)

$$\left|\overline{D}_{ост}^{(\omega_\delta)} + \overline{D}_{и1\delta}^{(\omega_э)}\right| \le D_{ст\ доп}. \qquad (7)$$

Полагая в последнем $D_{ост}^{(\omega_\delta)} = D_{доп} = 0,4D_{ст\ доп}$, приводим его к виду

$$D_{и1\delta}^{(\omega_э)} \le 0,6D_{ст\ доп}. \qquad (8)$$

Раскрывая $D_{и1\delta}^{(\omega_э)}$ по (4), с учётом сделанных к нему пояснений, привели (8) к виду

$$\frac{1}{1-\beta_1\omega_э^2} - \frac{1}{1-\beta_1\omega_\delta^2}\cdot\frac{1+1,03\beta_1\omega_э^2}{1+1,03\beta_1\omega_\delta^2} \le 1,28\frac{D_{ст\ доп}}{ml}, \qquad (9)$$

где $D_{ст\ доп}$ в гм, $m$ в кг, $l$ в м. При определённых значениях $\omega_э = \omega_{э\max}$, $\omega_\delta = \omega_{\delta\max}$, $D_{ст\ доп}$, $m$, $l$ численным решением находим значение $\beta_1 = A > 0$, удовлетворяющее неравенству (8).

Раскрывая $\beta_1$ по (5), после преобразований, проведённых с учётом (2), последнее условие привели к виду, совпадающему с (3) при ином способе нахождения значения $A$. Используется оно так же, как и (3), позволяя перевести проектируемый агрегат из класса $G = 3$ квазигибких в класс $G = 2$ квазижёстких роторов внесением изменений в конструкцию упруго деформируемой основы этого агрегата. Как результат — показатели эффективности балансировки этого агрегата резко возрастают.

Следует заметить, что при решении (9), рассматриваемом как равенство относительно $\beta_1$ и нахождения тем самым значения $A$, подставляемого в (3), значение $m$, входящее в (9), определяется исходной массой квазигибкого ротора. С изменением конструктивных параметров агрегата, необходимых для его перевода в класс $G = 2$, масса агрегата увеличится. Однако при этом результаты расчёта значения $A$ по (9) корректировать не следует, поскольку с ростом $m$ неравенство (9) усиливается.

Рассмотрим, наконец, случай агрегата, требующего балансировки по $n(>1)$-й собственной форме ($G$ = 5). Этот агрегат отбалансирован по всем $k = 1, 2, ..., (n-1)$ собственным формам изгиба и имеет $\omega_{кр(n-1)} < \omega_{э\max} < \omega_{кр\ n}$, где для описанной выше модели ротора $\omega_{кр\ n} = \omega_{кр1}\cdot n^2$.

Принимаем, что при некоторой скорости вращения агрегата

$$\omega_{n\ np} \le \omega_{кр\ n}\sqrt{\frac{4}{5}+\frac{1}{5}\left(\frac{n-1}{n}\right)^2} \quad (10)$$

упругий изгиб оси ротора по *n*-й собственной форме практически не проявляется, и отстройка критической частоты не требуется. Эту задачу необходимо решать лишь при $\omega_{э\max} > \omega_{n\ np}$, с тем чтобы последнее неравенство было нарушено, т. е. было обеспечено $\omega_{э\max} \le \omega_{n\ np}$. Подставив сюда равенство (10) и произведя преобразования, получили

$$\omega_{кр\ n} \ge \frac{\omega_{э\max}}{\sqrt{\frac{4}{5}+\frac{1}{5}\left(\frac{n-1}{n}\right)^2}}. \quad (11)$$

Раскрыв $\omega_{кр\ n}$ по представленному выше соотношению с учётом (5), окончательно привели условие обоснования качественной балансировки агрегата по $n(>1)$-й собственной форме к виду (3) при

$$A = \frac{n^4\left[\frac{4}{5}+\frac{1}{5}\left(\frac{n-1}{n}\right)^2\right]}{\omega_{э\max}^2}. \quad (12)$$

Использование соотношений (3), (12) для рассматриваемого ротационного агрегата $(G=5)$ осуществляется так же, как и в описанных выше случаях проведения отстройки критических частот вращения.

На рис. представлена блок-схема формализованного для использования ЭВМ алгоритма решения задачи отстройки критической частоты вращения проектируемого ротационного агрегата, если необходимость решения такой задачи ставится проектировщиком после анализа «гибкости» созданной им конструкции агрегата, определения класса *G* спроектированного агрегата и номера *n* собственной формы изгиба при его балансировке.

Раскрывая содержание блоков этого алгоритма, отметим:

- в блоке 2 вводятся исходные для проектного расчёта, содержание которых раскрыто ранее, кроме $n_c = n$ — введённый ранее номер собственной формы изгиба, по которой необходимо балансировать агрегат;

- блок 3 — условный переход. Если условие блока выполняется, ротор балансируется по первой собственной форме изгиба и расчёт переходит к блоку 4, выявляющему, к какому классу отнесён рассматриваемый агрегат по результатам обоснования его класса по признаку «гибкость» [1]. Если ротор отнесён к классу квазигибких $(G=3)$, в блоках 5…9 рассчитываются и выдаются на печать необходимые значения *J* и *F* сечения упруго деформируемой основы агрегата, при которых, через обязательное выполнение условия блока 10, ротор переводится в класс квазижёстких переходом к блоку 16;

- если условие блока 4 не выполняется, расчёт переходит к блоку 11. При выполнении условия этого блока — спроектированный агрегат является гибким $(G=4)$ по результатам обоснования его класса, расчёт переходит к блоку 12 и далее к блокам 8, 9. Поскольку $G=4$, условие блока 10 не выполняется. Не выполняется и условие блока 13, т. к. рассматривается случай $n_c = 1$, поэтому расчёт переходит к блоку 14, где полагается $G=3$ — ротор становится квазигибким;

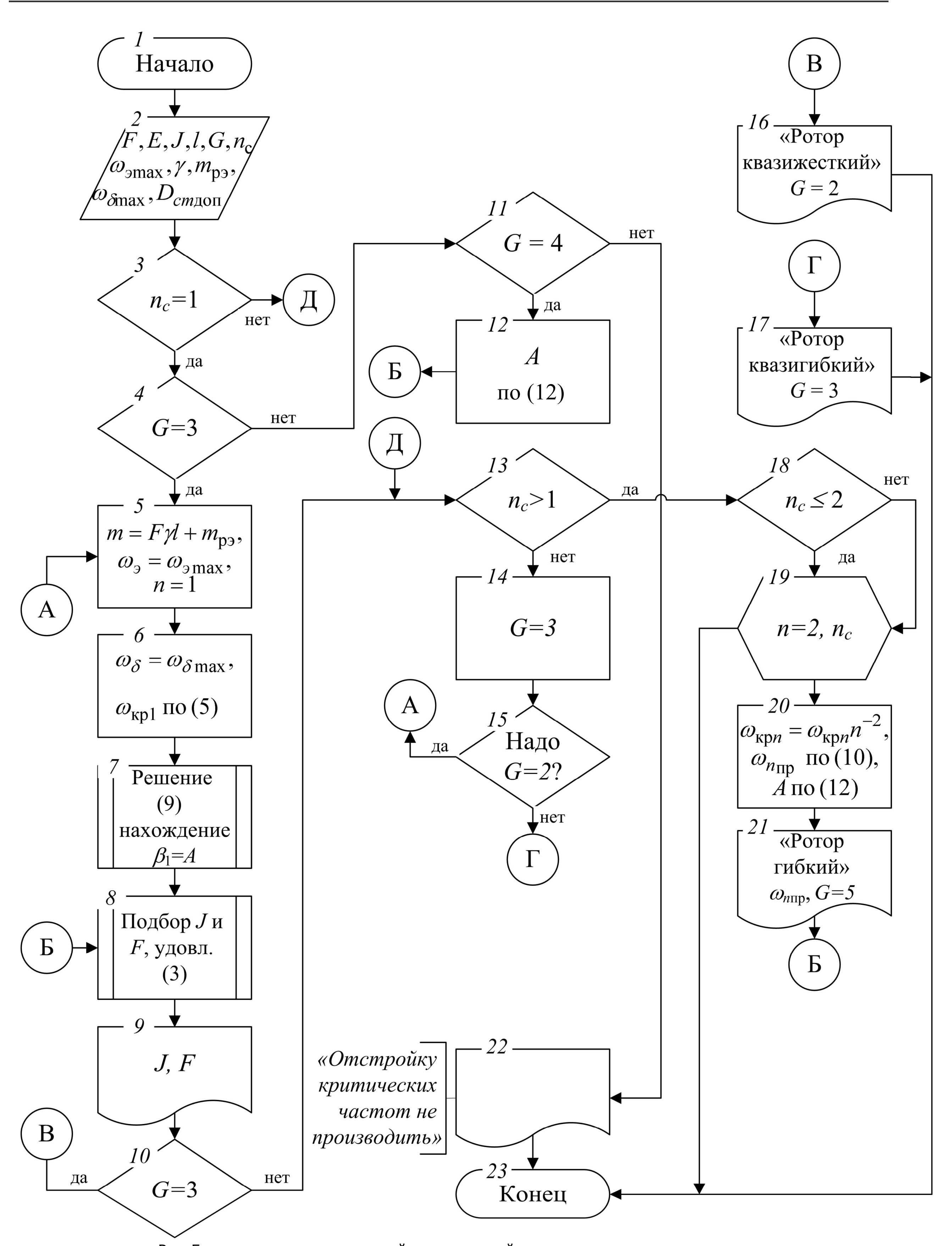



Рис. Блок-схема алгоритма отстройки критической частоты проектируемого агрегата

- блок 15 — условный переход, который устанавливает, следует ли спроектированный агрегат с выданными на печать значениями $J$ и $F$ переводить из класса квазигибких $(G = 3)$ в класс квазижёстких $(G = 2)$. Если это следует сделать, то расчёт переходит к блоку 5 и в блоках 6…9 определяются характеристики $J$ и $F$, которые должен иметь проектируемый агрегат для перевода его через блок 10 (его условие выполняется) к блоку 16. Если условие блока 15 не выполняется, расчёт переводится к блоку 17 и проектируемый агрегат с выданными на печать значениями $J$ и $F$ относится к квазигибким;

- если условие блока 3 не выполняется, расчёт переходит к блоку 13 и при невыполнении условия последнего ротор рассматривается как квазигибкий, который с помощью блока 15 может быть переведён в класс квазижёстких;

- если условие блока 13 выполняется, ротор необходимо балансировать по $n_c$ (> 1)-й собственной форме изгиба;

- для каждой из собственных форм $n$ = 2…$n_c$ в цикле 19 находится предельная скорость $\omega_{n\ пр}$ и для гибкого ротора, балансируемого по $n$-й собственной форме изгиба (блок 21), через блоки 8, 9 определяются характеристики $J$ и $F$ сечения несущей основы ротора;

- для ротора, балансируемого по 1-й собственной форме изгиба (условие блока 3 выполняется) и не относящегося к квазигибким (условие блока 4 не выполняется) в блоке 11 производится проверка, не относился ли спроектированный агрегат к классу гибких $(G = 4)$. Если условие блока 11 выполняется, в блоках 12, 8, 9, 10 обосновываются параметры $J$ и $F$ ротора, переводящие его в класс квазигибких $(G = 3)$ или, по необходимости (через блоки 10, 13, 14, 15, 5, 6, 7, 8, 9), и в класс квазижёстких. Если же для рассматриваемого ротора условие блока 11 не выполняется, он относится к жёстким, и переходом к блоку 22 снимается необходимость отстройки критической частоты вращения спроектированного агрегата.

По описанной блок-схеме разработана программа для ЭВМ.

**Заключение.** В подавляющем большинстве случаев выявление принадлежности проектируемого ротационного агрегата к классу гибких роторов требует отстройки его критической частоты. Осуществление этой отстройки по представленной оригинальной методике и алгоритму расчётов на ЭВМ позволяет:

- ротор, балансируемый по первой собственной форме, перевести (по усмотрению проектировщика) в класс квазигибких или в класс квазижёстких;

- для ротора, балансируемого по $n(>1)$-й собственной форме и имеющего предельное допустимое значение $\omega_{n\ пр}$ скорости вращения меньше, чем максимальная эксплуатационная скорость $\omega_{э\max}$, обеспечить $\omega_{э\max} \le \omega_{n\ пр}$.

Обоснованное этой методикой ужесточение оси ротора не только гарантированно обеспечивает его устойчивую работу в эксплуатации (отсутствуют значительные упругие деформации оси и обусловленные этим дисбалансы), но и значительно снижает трудозатраты балансировки при обеспечении требуемого её качества.

**Библиографический список**

1. Полушкин, О. О. Балансировка нежёстких роторов: монография / О. О. Полушкин. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2011. — 169 с.

2. Левит, М. Справочник по балансировке / М. Левит. — Москва: Машиностроение, 1992. — 464 с.

3. МС ИСО 1940-73. Качество балансировки вращающихся жёстких тел.

Материал поступил в редакцию 14.12.2011.

**References**

1. Polushkin, O. O. Balansirovka nezhyostkix rotorov: monografiya / O. O. Polushkin. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2011. — 169 s. — In Russian.

2. Levit, M. Spravochnik po balansirovke / M. Levit. — Moskva: Mashinostroenie, 1992. — 464 s. — In Russian.

3. MS ISO 1940-73. Kachestvo balansirovki vrashhayushhixsya zhyostkix tel. — In Russian.

## DESIGN-STAGE ADJUSTMENT OF ROTOR CRITICAL SPEEDS

**O. O. Polushkin, O. A. Polushkin**
(Don State Technical University)

*Know-how and the computer-applied diversity algorithm (removal) for the operational and critical rotation speeds of the rotor at the design stage (critical frequencies adjustment) are offered. Its application eliminates the possibility of significant axle elastic strains and specified rotor imbalances. It also reduces balancing costs providing the guaranteed quality of the process.*
***Keywords:*** *rotor, designing, critical speed, adjustment.*

УДК 621.91:621.793:669.018.45

# Трибоэлектрические явления и износ инструментальных материалов

**А. А. Рыжкин, В. Э. Бурлакова**
(Донской государственный технический университет)

*Определены мощности объёмных источников тепла Томсона. Показано, что нагревающий объёмный источник способствует уменьшению доли суммарного потока, поступающего в пластину, и расширению зоны прогрева. Охлаждающий объёмный источник в пластине инструментального материала, наоборот, отводит из зоны контакта дополнительное количество тепла, увеличивая температурный градиент и снижая зону прогрева.*
***Ключевые слова:*** *трение, износ, пара трения, термоЭДС, термоэлектрические эффекты, явление Зеебека, явление Пельтье, направление тока.*

**Введение.** Специфическая пара трения инструмент — деталь функционирует в условиях интенсивного тепловыделения, когда силовые и тепловые нагрузки действуют на контактных площадках ограниченных размеров при активном участии в процессе износа и внешней среды — жидкой или газообразной.

В условиях резания тепловое состояние режущего инструмента характеризуется большими числами Пекле (больше 10), значительными температурными градиентами по нормали к изнашиваемой поверхности, превалирующей ролью теплоотвода из зоны резания для поддержания оптимальной температуры, а также активным действием объёмных тепловых источников различной физической природы, поступающих от пластических деформаций в детали при обработке пластичных материалов, от структурно-фазовых превращений, от эндо- и экзотермических превращений в компонентах смазочно-охлаждающих средств, от реакций окисления материала и др.

Приведённые тепловые источники относятся к классу объёмных, действующих на определённой глубине поверхностного слоя, и измеряются единицами и десятками микрон. Определённый вклад в изучение тепловых процессов применительно к трению в условиях резания внесли исследования [1—14], в которых установлена связь температурного градиента с интенсивностью изнашивания.

Целью данной работы является изучение и обобщение внутренних источников изменения энергетического, теплового состояния изнашиваемого материала пар трения.

**Трибоэлектрические явления в специфической паре трения инструмент — деталь.** Известно, что термоЭДС — относительная электродвижущая сила в электрической цепи, составленной из последовательно соединённых разнородных металлов, чрезвычайно чувствительна к малейшим изменениям их состава или состояния. Если контакты поддерживаются при разных температурах $T_1$ и $T_2$ (явление Зеебека), то

$$E = \alpha \Delta T, \quad (1)$$

где $\alpha$ — коэффициент термоЭДС, В/°С; $\Delta T = T_2 - T_1$ — перепад температур по длине цепи; $E$ — термоЭДС, В.

Знак при $\alpha$ обычно связан с формой поверхности Ферми, поэтому даже для чистых металлов значение $\alpha$ определяют экспериментально [15].

Обратным явлению Зеебека является явление Пельтье [16], заключающееся в том, что при прохождении тока $I$ в цепи из разнородных проводников в местах их контакта в дополнение к теплоте Джоуля в единицу времени выделяется или поглощается (в зависимости от направления тока) количество тепла, пропорциональное прошедшему через контакт количеству электричества и некоторому коэффициенту п, зависящему от природы материалов,

$$q_п = п\, I. \quad (2)$$

Если вдоль проводника с током существует градиент температуры $\partial T / \partial x$, то в объёме проводника в дополнение к теплу Джоуля в единицу времени выделяется или поглощается, в зависимости от направления тока, некоторое количество тепла (эффект Томсона):

$$q_r = (т\, \partial T / \partial x)\, I. \quad (3)$$

Между указанными термоэлектрическими эффектами существует термодинамическая связь, обнаруженная Томсоном [15]. Согласно Томсону, интегральная термоЭДС $E$ пары двух металлов $a$ и $b$ равна

$$E = \left(п_2 - п_1\right) - \int_{T_1^*}^{T_2^*} \left(т_b - т_a\right) dT^*, \quad (4)$$

где $т_b$ и $т_a$ — коэффициенты Томсона для металлов $b$ и $a$; $T_1^*$ и $T_2^*$ — абсолютные температуры холодного и горячего спаев.

В случае обратимого кругового процесса перемещения тепла по замкнутому контуру при протекании тока Томсоном получено выражение

$$\left(\frac{п_2}{T_2^*} - \frac{п_1}{T_1^*}\right) - \int_{T_1^*}^{T_2^*} \frac{т_b - т_a}{T^*} dT^* = 0, \quad (5)$$

которое после дифференцирования (4) и (5) приводит к

$$\frac{dE}{dT_*} = e = \frac{п}{T_*}, \quad (6)$$

$$\frac{dE}{dT_*} = \frac{dп}{dT_*} - \left(т_b - т_a\right), \quad (7)$$

а также связи между теплом Томсона и термоЭДС:

$$\frac{d^2E}{dT_*^2} = \left(т_b - т_a\right) / T_* = т / T_*. \quad (8)$$

В выражениях (6), (7) п — относительный коэффициент Пельтье для пары проводников; $e$ — относительная дифференциальная термоЭДС пары; т — относительный коэффициент Томсона; знаком $*$ при температуре здесь и далее обозначена абсолютная температура.

Если $E$ — относительная интегральная термоЭДС пары проводников, то согласно [17]:

$$E = E_b - E_a; \qquad e = \varepsilon_b - \varepsilon_a; \qquad п = п_b - п_a; \qquad т = т_b - т_a. \quad (9)$$

Здесь $\varepsilon_b$ и $\varepsilon_a$ — абсолютные дифференциальные термоЭДС материалов пары.

Показано [15], что абсолютная термоЭДС

$$\varepsilon = -\int_0^{T_*} \frac{т}{T_*} dT^* \quad (10)$$

имеет значение энтропии, ЭДС Томсона т — теплоёмкости движущихся носителей тока, а коэффициент Пельтье — связанной энергии.

Определим влияние эффектов Томсона и Пельтье на тепловой режим пар трения инструмент — сталь. Данные по значениям ε, п, т для инструментальных и обрабатываемых материалов отсутствуют, их определяли расчётно-экспериментальным методом [18].

**Расчёт термоэлектрических характеристик инструментальных и конструкционных материалов.** Термодинамические соотношения между термоэлектрическими эффектами (6), (7) и зависимостью (8) дают возможность рассчитать абсолютные значения ε, п, т для каждого материала, если известна относительная интегральная термоЭДС между материалом и эталоном (обычно Pt или Cu). Зависимость $E$ от температуры находилась путём тарирования с использованием экспериментальных зависимостей $E_{xP1} = f\,(T)$ (рис. 1), известных для каждого сплава. Ап-

проксимирующую функцию $E_{xp1} = f(T)$ с относительной ошибкой ± 2 % находили с использованием стандартной программы. Наиболее подходящей аппроксимирующей кривой является полином четвёртого порядка относительно $E$ (для всех инструментальных и обрабатываемых материалов). При этом абсолютная дифференциальная термоЭДС материала равна

$$\varepsilon_x = e_{x,\mathrm{Pt}} - e_{\mathrm{Pt}}. \qquad (11)$$

Аппроксимация температурной зависимости абсолютной термоЭДС с последующим дифференцированием функции $\varepsilon_x = f(T)$ даёт в соответствии с (8) величину коэффициента Томсона:

$$\tau_x = \frac{d\varepsilon_x}{dT} T. \qquad (12)$$

При известных $\varepsilon_x$, согласно (6), коэффициент Пельтье принимает вид:

$$\pi_x = e_x T. \qquad (13)$$

В табл. 1 приведены уравнения аппроксимирующих функций для расчёта термоэлектрических характеристик твёрдого сплава Т15К6 ($T$ = 100—1000 °С); на рис. 2 показано влияние температуры на коэффициенты Томсона для твёрдых сплавов, быстрорежущих сталей и некоторых марок конструкционных материалов.

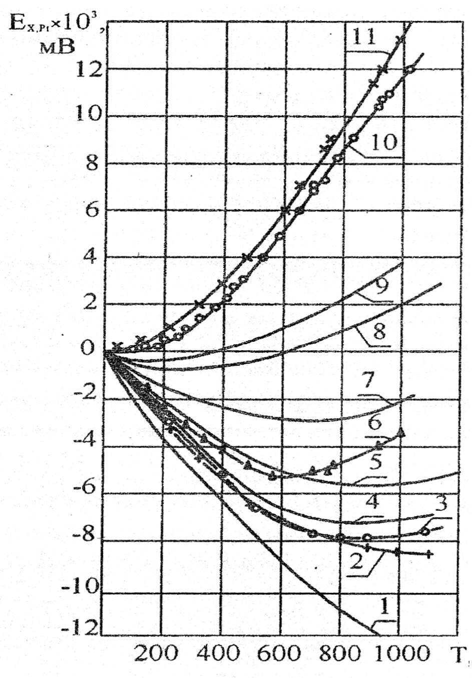



Рис. 1. Зависимость термоЭДС твёрдых сплавов относительно платины: 1 — ВК4, 2 — ВК6, 3 — ВК6М, 4 — ВК8, 5 — Т5К10, 6 — ВК15М, 7 — Т15К6, 8 — Т30К4, 9 — Т60К6, 10 — МНТ-А2, 11 — КТН-16

*Таблица 1*

**Абсолютные значения термоэлектрических характеристик для твёрдого сплава Т15К6 ($T$ = 100—1000 °С)**

| Характеристика | Уравнения аппроксимирующих функций |
|---|---|
| $E = f(T)$ | $E = 0{,}177\cdot10^{3} - 0{,}118\cdot10^{2}T + 0{,}362\cdot10^{-1}T^2 + 0{,}483\cdot10^{-5}T^3 - 0{,}228\cdot10^{-8}T^4$ |
| $\varepsilon = f(T)$ | $\varepsilon = -0{,}155\cdot10^{-2} - 0{,}271\cdot10^{-1}T + 0{,}609\cdot10^{-4}T^2 - 0{,}535\cdot10^{7}T^3 + 0{,}149\cdot10^{-10}T^4$ |
| $\pi = f(T)$ | $\pi = -0{,}379\cdot10^{4} - 0{,}274\cdot10^{2}T + 0{,}193\cdot10^{-1}T^2 - 0{,}109\cdot10^{-4}T^3 - 0{,}114\cdot10^{-8}T^4$ |
| $\tau = f(T)$ | $\tau = -0{,}740\cdot10^{1} + 0{,}617\cdot10^{-2}T + 0{,}780\cdot10^{-4}T^2 - 0{,}144\cdot10^{-6}T^3 + 0{,}595\cdot10^{-10}T^4$ |

Как следует из полученных результатов, значения τ претерпевают инверсию, особенно чётко проявляющуюся для быстрорежущих сталей и однокарбидных твёрдых сплавов. Сплавы

группы ВК имеют τ = 0 в двух температурных диапазонах: 200…300 °С и 700…850 °С; максимальные положительные значения τ у них соответствуют температурам 500…650 °С (рис. 2, *а*).

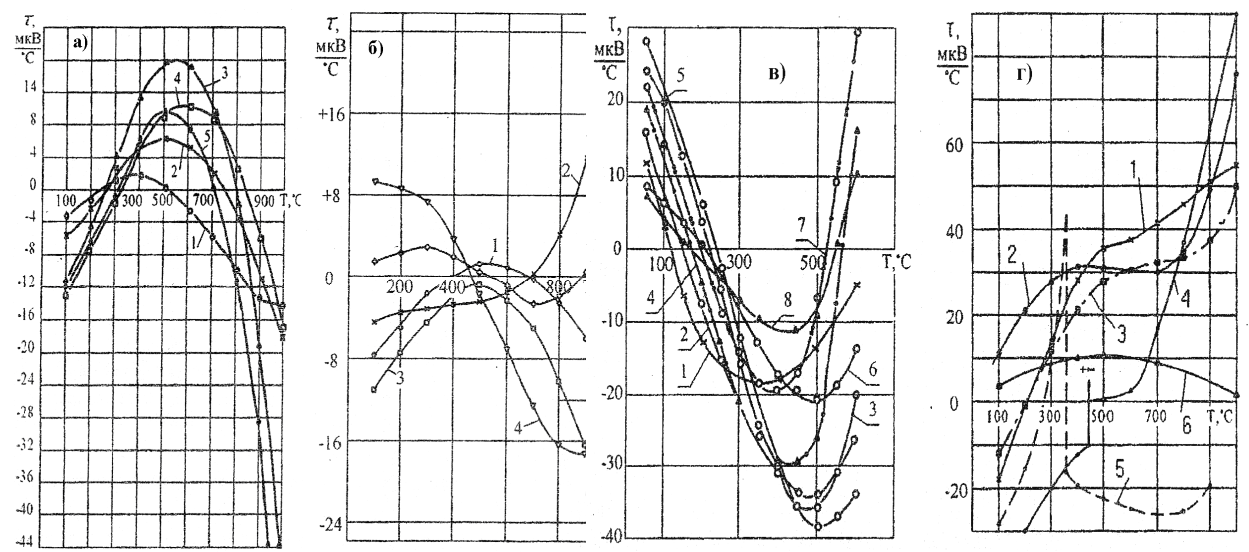



Рис. 2. Зависимость коэффициента Томсона от температуры для: а — однокарбидных твёрдых сплавов: 1 — ВК4, 2 — ВК6, 3 — ВК6М, 4 — ВК8, 5 — ВК15М; б — двухкарбидных и безвольфрамовых твёрдых сплавов: 1 — Т5К10, 2 — Т15К6, 3 — Т60К6, 4 — МНТ-А2, 5 — КНТ-16; в — быстрорежущих сталей: 1 — Р6М5, 2 — Р18, 3 — Р9Ф5, 4 — Р6М4Ф4, 5 — Р8М3Ф4, 6 — Р4М4Ф4, 7 — Р18Ф2К8М3, 8 — Р6Ф2К8М5; г — некоторых чистых металлов и карбидов: 1 — карбид вольфрама, 2 — карбид титана, 3 — карбид тантала, 4 — кобальт, 5 — никель, 6 — молибден

Для двухкарбидных и безвольфрамовых сплавов абсолютные значения τ ниже, чем у твёрдых сплавов группы ВК; экстремумы менее выражены у безвольфрамовых сплавов (рис. 2, *б*). Для быстрорежущих сталей (рис. 2, *в*) характерен отрицательный максимум кривых τ = *f* (*T*) при температурах 400…500 °С, а также нулевые значения τ в диапазоне 150…250 °С и 550…650 °С. Из представленных данных видно, что значение τ у инструментальных материалов разных групп находятся в пределах от +30 до −40 мкВ/°С.

Данные по ЭДС Томсона для карбидов WC, TiC и TaC получены расчётом по данным для зависимостей *E* = *f* (*T*) в паре с вольфрамовым стержнем. По-видимому, максимумы значений τ для сплавов группы ВК и ТК обусловлены влиянием кобальта, у которого ЭДС Томсона принимает значение +∞ при температуре 447 °С аллотропического превращения α-Co↔β-Co [15]. Свойства карбидов влияния здесь не оказывают, поскольку с ростом температуры значение τ у них монотонно возрастает в положительной области значений (рис. 2, *г*). Подтверждением такому предположению может служить другой характер изменения τ у безвольфрамовых сплавов, не содержащих кобальт. У сплавов, имеющих никелево-молибденовую связку, заметна аналогия хода кривых τ = *f* (*T*) для сплавов МНТ-А2 и КНТ-16 (рис. 2, *б*, кривые *4* и *5*) и чистых Ni и Mo (рис. 2, *г*, кривые *5* и *6*).

Для конструкционных материалов разных групп значения τ изменяются от +30 до −100 мкВ/°С (рис. 3) и для большинства из них имеют положительный максимум при температурах 400…500 °С, а нулевые значения — в двух диапазонах температур: −150…250 °С и 550…750 °С.

Значения теплот Пельтье у инструментальных материалов колеблются от $+5 \cdot 10^3$ до $-35 \cdot 10^3$ мкВ, причём у твёрдых сплавов групп ВК и ТК значения коэффициента π находятся в отрицательной области, для быстрорежущих сталей — в положительной, с явным максимумом при *T* = 300°.

**Оценка влияния объёмных источников тепла Томсона.** Для определения мощности объёмных источников тепла Томсона необходимо знать знак при τ, а также направление тока, протекающего через фрикционный контакт. Применительно к контакту в условиях трения разнородных металлических материалов, можно с учётом вышесказанного и найденных значений τ определить направление ЭДС Томсона для каждого из тел пары трения. Например, для пары Т15К6 — Ст35 в диапазоне температур контакта 100—710 °С у Т15К6 коэффициент Томсона отрицателен, значит, ЭДС Томсона направлена от зоны контакта, где температура максимальна, в тело пластины твёрдого сплава; для Ст35 ЭДС Томсона отрицательна во всём диапазоне температур и также направлена вглубь контртела.

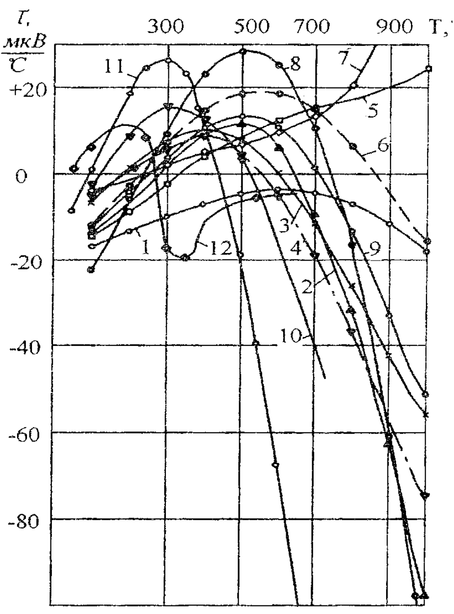



Рис. 3. Зависимость коэффициента Томсона от температуры для конструкционных материалов: 1 — Ст35; 2 — 1Х18Н9Т; 3 — Ст45; 4 — Ст7; 5 — ВТ3-1; 6 — ОТ4; 7 — Х17Н20ТР; 8 — 40ХНМА; 9 — ЭИ481; 10 — 30ХГСА; 11 — СЧ 18-36; 12 — ЛС 58-1Л

Тепловой эффект Томсона определяется направлением тока — точнее, направлением потока электронов. Если по проводнику, вдоль которого существует градиент температуры, протекает электрический ток, направление которого соответствует движению электронов от горячего конца к холодному, то, переходя из более горячего участка в более холодный, электроны передают избыточную энергию окружающим атомам, что вызывает нагрев проводника (тепло выделяется) [17, 19]. При обратном направлении тока электроны пополняют свою энергию за счёт окружающих атомов и охлаждают объём (поглощение тепла). В приведённой упрощённой трактовке эффекта Томсона не учитывается тот факт, что в первом случае электроны тормозятся, а во втором ускоряются полем термоЭДС, что может не только изменить значение коэффициента Томсона, но и привести к перемене его знака.

В условиях изнашивания инструментальных материалов токовый режим пары трения создаётся циркуляцией через зону трения естественно возникающих трибоэлектрических токов и путём пропускания постоянного тока от постороннего источника. В некоторых случаях созданием специальных условий можно обеспечить режим максимальной отдачи мощности термоэлементом зоны трения.

В общем случае, независимо от этих вариантов, рассмотрим тепловой эффект Томсона в зоне трения для двух направлений тока — от инструментального материала к контртелу и наоборот. Направление потока электронов, естественно, будет противоположно направлению тока. Для

качественной практической оценки теплового действия эффекта Томсона необходимо иметь в виду простое правило: если направление потока электронов через фрикционный контакт совпадает с направлением коэффициента (ЭДС) Томсона материала пары трения, его объём дополнительно нагревается, при встречных направлениях потока электронов и ЭДС Томсона объём материала будет охлаждаться.

**Расчёт мощности объёмных источников тепла Томсона в элементах пары трения.** Для теоретической оценки вклада эффекта Томсона в тепловое состояние зоны трения (температура контактной поверхности, распределение температур по нормали к трущейся поверхности, величина градиента) необходимо знать кроме направления теплового действия мощность объёмных источников тепла Томсона. Для этого, чтобы рассчитать мощность тепловыделения на контакте $q$, Вт/м$^2$, от сил трения, необходимо учесть фактическое контактное давление, которое при пластическом контакте приближается к твёрдости наиболее мягкого материала пары [20]. Для оценки площадки фактического контакта используют приближённую зависимость [21]:

$$A_r = N / HV, \qquad (14)$$

где $N$ — нормальная нагрузка; $HV$ — микротвёрдость наиболее мягкого материала пары трения.

В настоящем исследовании в качестве материалов контртела применялись Ст35, 1Х18Н9Т, ВТ3-1, СЧ18-36, микротвёрдости которых соответственно равны 3200, 3500, 3700 и 2000 МПа. Рассчитанные по зависимости (14) площади контакта $A_r$ для нормальной нагрузки $N$ = 500 Н соответствуют приблизительно соотношению $A_r$ = 0,1 % $A_r$.

Тогда формулы для расчёта мощности объёмных источников тепла Томсона с учётом вышеизложенного примут вид: для инструментального материала

$$q_{\tau_1} = \frac{(\pm I)\left(-\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=0}(\pm\tau_1)}{10^6 A_r}, \qquad (15)$$

для материала контртела

$$q_{\tau_2} = \frac{(\pm I)\left(-\frac{\partial t}{\partial x}\right)_{x=0}(\pm\tau_2)}{10^6 A_r}, \qquad (16)$$

где $I$ — ток, А; $\partial t / \partial x$ — градиент, °С/м; $\tau_i$ — коэффициенты Томсона, мкВ/°С; $A_r$ — фактическая площадь контакта, м$^2$; $10^6$ — переводной коэффициент. Комбинация знаков при трёх сомножителях выражений (15) и (16) (их алгебраическое произведение) даёт знак при источниках $q_{\tau_1}$ и $q_{\tau_2}$, что и определяет их тепловой эффект (табл. 1). Значения температурных градиентов следует принимать из решения контактной тепловой задачи.

В табл. 2 приведены исходные данные и результаты расчёта мощностей объёмных источников по (15), (16) и в пластине из сплава Т15К6, и в заготовке из Ст35 соответственно для скорости трения $V$ = 3,5 м/с.

*Таблица 2*

**Мощность объёмных источников тепла Томсона для пары твёрдый сплав Т15К6 — Ст35**

| Скорость трения $V$, м/с | Мощность трения $q$, МВт/м$^2$ | Температура поверхности $T_п$, °С | Коэффициент Томсона, $10^{-6}$ В/°С | | Температурный градиент, $10^{-6}$ °С/м | | Мощность объёмных источников, МВт/м$^3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $\tau_1$ | $\tau_2$ | $\partial T_1 / \partial x$ | $\partial T_2 / \partial x$ | $q_{r1}$ | $q_{r2}$ |
| 2,0 | 255 | 712 | 0 | −3,5 | 0,91 | 5,81 | 0,0 | 103,9 |
| 3,0 | 383 | 872 | +9 | −9,0 | 0,99 | 8,87 | 45,6 | 408,1 |
| 3,5 | 448 | 942 | +16 | −13,0 | 1,06 | 10,29 | 86,7 | 684,7 |

Аналогичным образом по (14) рассчитывались мощности объёмных источников тепла Томсона в пластинах и заготовках для твёрдых сплавов Т15К6, ВК8; быстрорежущей стали Р6М5 и

Ст35, 1Х18Н9Т и ВТ3-1 в широком диапазоне изменения скоростей трения. Для твердосплавных материалов максимальная сила тока, подаваемого через зону трения, выбиралась равной ± 8 А, для быстрорежущей стали — ± 4 А. Эти значения соответствуют предельным значениям трибототока, протекающего через контакт [22]. Результаты приведены на рис. 4. Как следует из полученных данных, тепловое действие источника Томсона в пластинах инструментального материала может быть различным даже при одном направлении тока, что связано с температурной зависимостью величины и знака коэффициента Томсона (рис. 2).

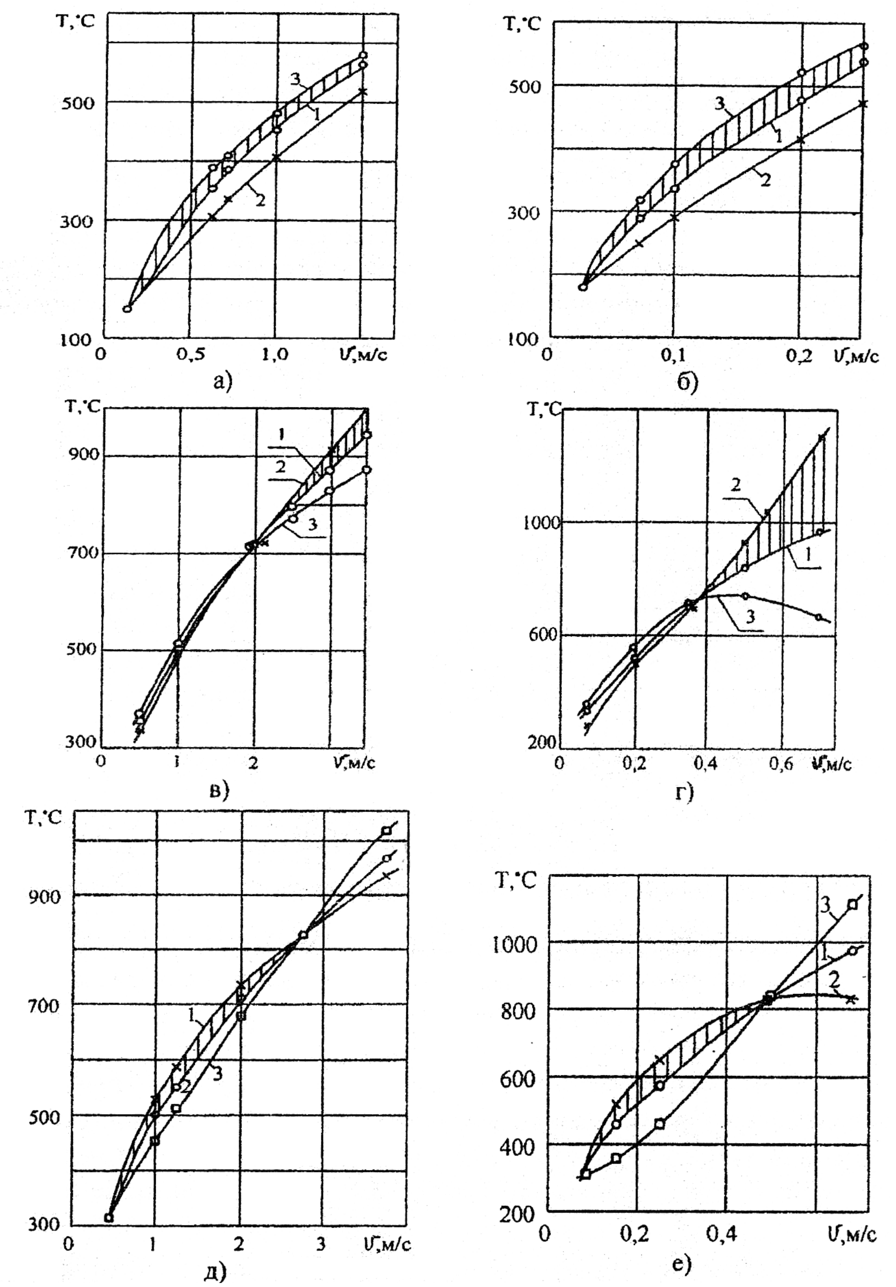



Рис. 4. Влияние токового режима на поверхностную температуру для следующих пар трения:
а — Р6М5 — Ст35, б — Р6М5 — ВТ3-1: 1 — $I$ = 0, 2 — $I$ = −4 А, 3 — $I$ = +4 А;
в — Т15К6 — Ст35, г — Т15К6 — ВТ3-1, д — ВК8 — Ст35, е — ВК8 — ВТ3-1: 1 — $I$ = 0, 2 — $I$ = −8 А, 3 — $I$ = +8 А

При трении и резании большинства конструкционных материалов быстрорежущая сталь является положительным полюсом в цепи естественной термопары, устранение циркуляции есте-

ственного триботока через зону контакта будет способствовать его охлаждению (заштрихованная область на рис. 4, *а*, *б*). Это относится и к твёрдым сплавам, только охлаждающий эффект контактной зоны в определённом диапазоне скоростей соответствует отрицательному направлению тока. Для твёрдых сплавов, независимо от материала контртела, существует область скоростей трения, где устранение циркуляции естественно возникающего триботока через контакт снижает его температуру (заштрихованная область на рис. 4, *в*, *г*, *д*, *е*). За критическим значением скорости трения, соответствующей температуре изменения знака коэффициента Томсона $\tau_1$ (700 °С для Т15К6 и 840 °С для ВК8), естественный триботок будет охлаждать контакт (для ВК8) или нагревать его (для Т15К6). Полученные данные находятся в полном соответствии с характером изменения знака коэффициента Томсона у инструментальных материалов при вариации температуры и действием объёмного источника тепла Томсона в пластине инструментального материала. Влияние токового режима пары трения на характер распределения температур по нормали к поверхности трения пластин инструментальных материалов по результатам расчёта на ЭВМ приведено на рис. 5—7. Независимо от материала пластин охлаждающее действие тока приводит к увеличению температурных градиентов, снижению зоны максимального прогрева Δ, т. е. локализации зоны Δ к поверхности контакта, падению температуры контакта.

Для быстрорежущей стали Р6М5 в диапазоне реальных скоростей трения нагревающее действие производит положительный постоянный ток и естественный триботок (рис. 5), поэтому электроизоляция должна быть эффективна во всём диапазоне скоростей. У твёрдого сплава Т15К6 при скоростях более 2 м/с наблюдается аналогичная картина (рис. 6).

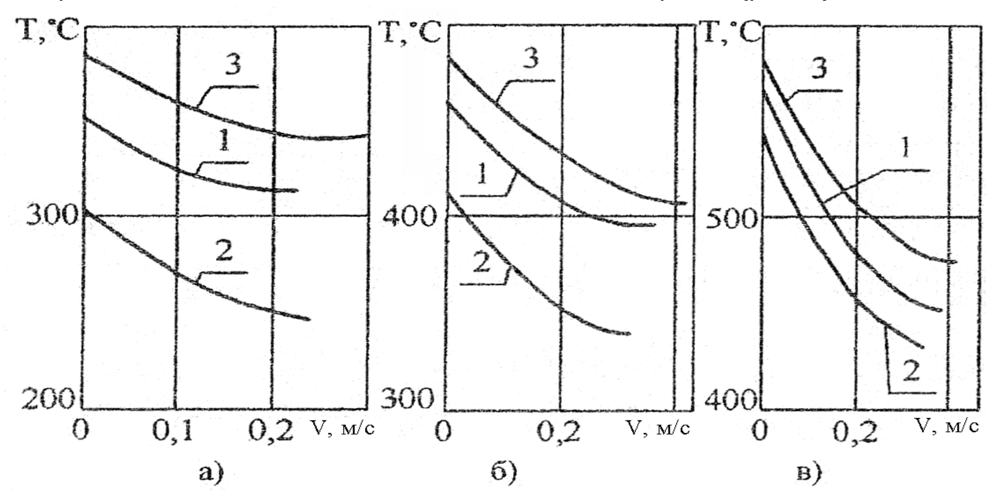



Рис. 5. Влияние направления постоянного тока на распределение температур по нормали к поверхности пластины из Р6М5 при трении по Ст35: а — $V$ = 0,6 м/с, б — $V$ = 1,0 м/с, в — $V$ = 1,5 м/с: 1 — $I$ = 0, 2 — $I$ = −4 А, 3 — $I$ = +4 А

При $V$ = 2 м/с ($T_п$ ~ 700 °С) коэффициент Томсона для Т15К6 равен нулю и тепловое действие тока не проявляется. С переменой знака коэффициента Томсона у твёрдого сплава при одном направлении тока меняется и его тепловое действие. Это обстоятельство отчётливо проявляется для пары ВК8 — Ст35. При $V$ = 1 м/с ($T_п$ ~ 500 °С) коэффициент Томсона ВК8 (рис. 2) имеет практически максимальное положительное значение и отрицательный ток (естественный триботок) дополнительно нагревает объём материала (кривые *1* и *3*, рис. 7, *а*). При трении с $V$ = 3,75 м/с ($T_п$ ~ 980 °С) $\tau_x$ имеет отрицательную величину, и отрицательный ток в этом случае проявляет охлаждающее действие (рис. 7, *б*).

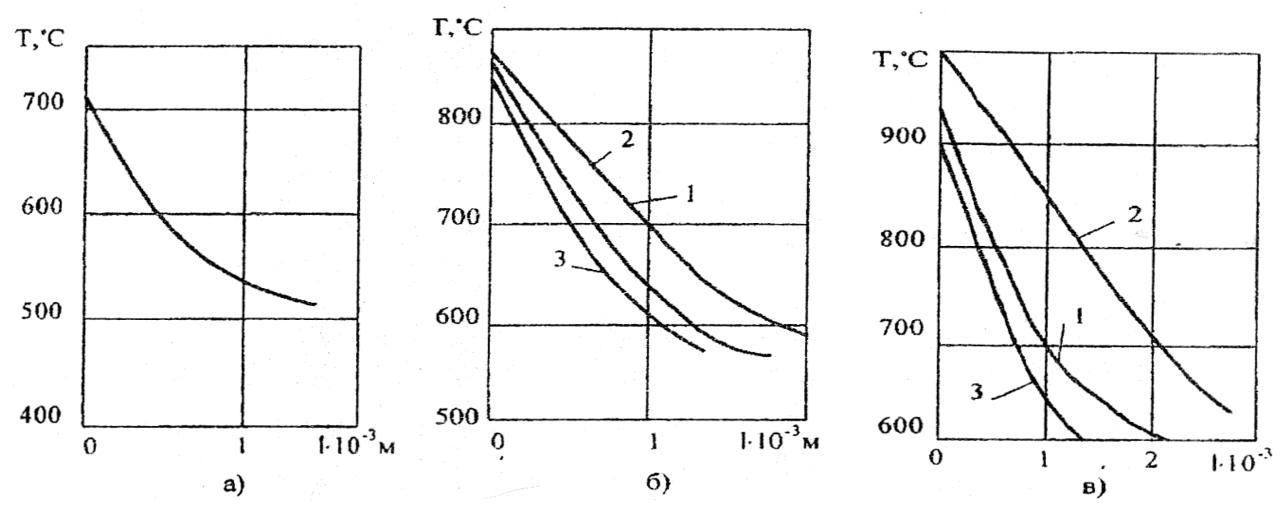



Рис. 6. Влияние направления постоянного тока на распределение температур по нормали к поверхности трения сплава Т15К6 (пара Т15К6 — Ст35): а — $V$ = 2,0 м/с; б — $V$ = 3,0 м/с, в — $V$ = 3,5 м/с: 1 — $I$ = 0, 2 — $I$ = −8 А, 3 — $I$ = +8 А

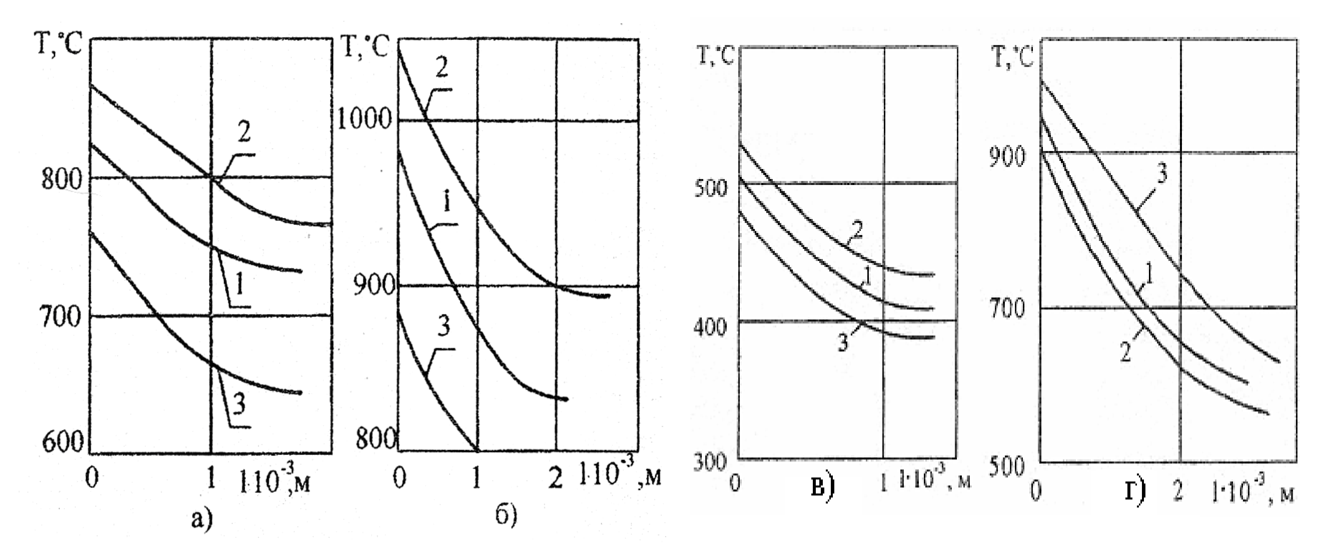



Рис. 7. Влияние направления постоянного тока на распределение температур по нормали к поверхности трения сплава: а, б — пара ВК8 — Ст3: а — $V$ = 1,0 м/с, б — $V$ = 3,75 м/с; в, г — Т15К6 по титановому сплаву ВТ3-1: в — $V$ = 0,5 м/с, г — $V$ = 0,7 м/с: 1 — $I$ = 0, 2 — $I$ = −8 А, 3 — $I$ = +8 А

В условиях трения в паре с малотеплопроводными материалами 1Х18Н9Т и ВТ3-1 механизм теплового действия тока в принципе не изменяется (рис. 6 и 7, *в*, *г*), однако увеличивается разница в температурах (контакта и на глубине) в зависимости от направления тока и обычных условий ($I$ = 0), что связано с большими, чем для Ст35, величинами температурных градиентов.

**Заключение.** В зависимости от теплового действия тока изменяется и доля теплового потока, поступающего в пластину. Если пластина дополнительно охлаждается теплом Томсона, в ней повышаются температурные градиенты, и из-за этого несколько возрастает тепловой поток $(1-\alpha)q$ в пластину $(1-\alpha)q = \alpha\, \partial T_1(x) / \partial x$. Так, по приведённым выше расчётам для пары Т15К6 — 1Х18Н9Т:

при $I$ = 0 величина $(1-\alpha)q$ = 5,74 МВт/м$^2$;
при $I$ = −8 А (нагрев) $(1-\alpha)q$ = 3,9 МВт/м$^2$;
при $I$ = +8 А (охлаждение) $(1-\alpha)q$ = 6,97 МВт/м$^2$.

Таким образом, нагревающий объёмный источник в пластине выполняет роль своеобразного теплового «подпора», способствующего уменьшению доли суммарного потока тепла, поступающего в пластину, расширению зоны прогрева пластины и падению grad *T*. Охлаждающий объёмный источник в пластине инструментального материала, наоборот, отводит из зоны контакта дополнительное количество тепла, увеличивая температурный градиент и сужая зону прогрева.

Статья подготовлена в ходе работ по государственному контракту на выполнение научно-исследовательских работ с Минобрнауки России от 29 апреля 2011 года № 16.552.11.7027.

**Библиографический список**

1. Климов, М. М. Влияние флуктуации параметров процесса трения на изнашивание твёрдых сплавов: автореф. дис. … канд. техн. наук / М. М. Климов. — Ростов-на-Дону, 1987. — 16 с.

2. Расчётная оценка изнашивания инструментальных материалов на основе термодинамического подхода / А. А. Рыжкин [и др.] // Zeszyty naukowe Politechniki Poznanskiej. Mechanika. — 1991. — № 36. — S. 125—129.

3. Рыжкин, А. А. О самоорганизации системы резания в условиях электроконтактного подогрева / А. А. Рыжкин, К. Г. Шучев, Я. Бруквицкий // Безызносность: межвуз. сб. науч. ст. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 1998. — Вып. 5. — С. 157—178.

4. Взаимосвязь характеристик температурного поля пары трения с интенсивностью изнашивания / А. А. Рыжкин [и др.] // Трение и износ. — 1985. — Т. 6, № 1. — С. 153—157.

5. Рыжкин, А. А. Влияние пластической деформации на тепловой режим зоны трения / А. А. Рыжкин, А. И. Филипчук // Прогрессивные методы термического упрочнения в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении: сб. науч. ст. / РИСХМ. — Ростов-на-Дону: Изд-во РИСХМ, 1980. — С. 87—89.

6. Рыжкин, А. А. Расчёт температур в контактной зоне при трении / А. А. Рыжкин, А. И. Филипчук // Известия СКНЦ ВШ. Технические науки. — 1980. — № 1. — С. 56—59.

7. Оценка влияния фактора структурной неоднородности инструментального материала на температурные флуктуации при трении / А. А. Рыжкин [и др.] // Надёжность и эффективность станочных и инструментальных систем: сб. науч. ст. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 1997. — С. 3—13.

8. Температурный режим при трении инструментальных материалов с учётом объёмности источника тепловыделения / А. А. Рыжкин [и др.] // Трение и износ. — 1986. — Т. 7, № 3. — С. 398—407.

9. Тепловой режим твёрдых сплавов при трении с малыми коэффициентами взаимного перекрытия / А. И. Филипчук [и др.] // Трение и износ. — 1981. — Т. 3, № 1. — С. 72—86.

10. Термодинамический критерий оптимизации процесса контактного взаимодействия / А. И. Филипчук [и др.] // Трение и износ. — 1982. — Т. 3, № 1. — С. 145—147.

11. Марковский, Е. А. Антифрикционные свойства облучённых сплавов / Е. А. Марковский, М. М. Краснощёков, Д. В. Переверзев. — Москва: Атомиздат, 1978. — 66 с.

12. Тепловой режим твёрдых сплавов при трении с малыми коэффициентами взаимного перекрытия / А. И. Филипчук [и др.] // Трение и износ. — 1981. — Т. 2, № 1. — С. 72—86.

13. Колесников, В. И. Теплофизические процессы в металлополимерных трибосистемах / В. И. Колесников. — Москва: Наука, 2003. — 279 с.

14. Кащеев, В. Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов / В. Н. Кащеев. — Москва: Машиностроение, 1978. — 213 с.

15. Рудницкий, А. А. Термоэлектрические свойства благородных металлов и их сплавов / А. А. Рудницкий. — Москва: Изд-во АН СССР, 1956. — 147 с.

16. Стильбанс, Л. С. Физика полупроводников / Л. С. Стильбанс. — Москва: Советское радио, 1967. — 451 с.

17. Методы исследования термоэлектрических полупроводников / В. М. Глазов [и др.]. — Москва: Атомиздат, 1969. — 168 с.

18. Рыжкин, А. А. Термодинамические основы повышения износостойкости инструментальных режущих материалов: дис. … д-ра техн. наук. — Киев, 1985. — 452 с.

19. Таблицы физических величин: справочник / под ред. И. К. Кикоина. — Москва: Атомиздат, 1976. — 1008 с.

20. Крагельский, И. В. Основы расчётов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. — Москва: Машиностроение, 1977. — 552 с.

21. Дёмкин, Н. Б. Фактическая площадь касания твёрдых поверхностей / Н. Б. Дёмкин. — Москва: Изд-во АН СССР, 1967. — 111 с.

22. Рыжкин, А. А. К вопросу об электрических явлениях при резании металлов / А. А. Рыжкин, В. С. Дмитриев, Д. В. Кривец // Известия СКНЦ ВШ. Технические науки. — 1976. — № 2. — С. 24—26.

Материал поступил в редакцию 15.12.2011.

**References**

1. Klimov, M. M. Vliyanie fluktuacii parametrov processa treniya na iznashivanie tvyordy`x splavov: avtoref. dis. … kand. texn. nauk / M. M. Klimov. — Rostov-na-Donu, 1987. — 16 s. — In Russian.

2. Raschyotnaya ocenka iznashivaniya instrumental`ny`x materialov na osnove termodinamicheskogo podxoda / A. A. Ry`zhkin [i dr.] // Zeszyty naukowe Politechniki Poznanskiej. Mechanika. — 1991. — # 36. — S. 125—129. — In Russian.

3. Ry`zhkin, A. A. O samoorganizacii sistemy` rezaniya v usloviyax e`lektrokontaktnogo podogreva / A. A. Ry`zhkin, K. G. Shuchev, Ya. Brukviczkij // Bezy`znosnost`: mezhvuz. sb. nauch. st. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 1998. — Vy`p. 5. — S. 157—178. — In Russian.

4. Vzaimosvyaz` xarakteristik temperaturnogo polya pary` treniya s intensivnost`yu iznashivaniya / A. A. Ry`zhkin [i dr.] // Trenie i iznos. — 1985. — T. 6, # 1. — S. 153—157. — In Russian.

5. Ry`zhkin, A. A. Vliyanie plasticheskoj deformacii na teplovoj rezhim zony` treniya / A. A. Ry`zhkin, A. I. Filipchuk // Progressivny`e metody` termicheskogo uprochneniya v traktornom i sel`skoxozyajstvennom mashinostroenii: sb. nauch. st. / RISXM. — Rostov-na-Donu: Izd-vo RISXM, 1980. — S. 87—89. — In Russian.

6. Ry`zhkin, A. A. Raschyot temperatur v kontaktnoj zone pri trenii / A. A. Ry`zhkin, A. I. Filipchuk // Izvestiya SKNCz VSh. Texnicheskie nauki. — 1980. — # 1. — S. 56—59. — In Russian.

7. Ocenka vliyaniya faktora strukturnoj neodnorodnosti instrumental`nogo materiala na temperaturny`e fluktuacii pri trenii / A. A. Ry`zhkin [i dr.] // Nadyozhnost` i e`ffektivnost` stanochny`x i instrumental`ny`x sistem: sb. nauch. st. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 1997. — S. 3—13. — In Russian.

8. Temperaturny`j rezhim pri trenii instrumental`ny`x materialov s uchyotom ob``yomnosti istochnika teplovy`deleniya / A. A. Ry`zhkin [i dr.] // Trenie i iznos. — 1986. — T. 7, # 3. — S. 398—407. — In Russian.

9. Teplovoj rezhim tvyordy`x splavov pri trenii s maly`mi koe`fficientami vzaimnogo perekry`tiya / A. I. Filipchuk [i dr.] // Trenie i iznos. — 1981. — T. 3, # 1. — S. 72—86. — In Russian.

10. Termodinamicheskij kriterij optimizacii processa kontaktnogo vzaimodejstviya / A. I. Filipchuk [i dr.] // Trenie i iznos. — 1982. — T. 3, # 1. — S. 145—147. — In Russian.

11. Markovskij, E. A. Antifrikcionny`e svojstva obluchyonny`x splavov / E. A. Markovskij, M. M. Krasnoshhyokov, D. V. Pereverzev. — Moskva: Atomizdat, 1978. — 66 s. — In Russian.

12. Teplovoj rezhim tvyordy`x splavov pri trenii s maly`mi koe`fficientami vzaimnogo perekry`tiya / A. I. Filipchuk [i dr.] // Trenie i iznos. — 1981. — T. 2, # 1. — S. 72—86. — In Russian.

13. Kolesnikov, V. I. Teplofizicheskie processy` v metallopolimerny`x tribosistemax / V. I. Kolesnikov. — Moskva: Nauka, 2003. — 279 s. — In Russian.

14. Kashheev, V. N. Processy` v zone frikcionnogo kontakta metallov / V. N. Kashheev. — Moskva: Mashinostroenie, 1978. — 213 s. — In Russian.

15. Rudniczkij, A. A. Termoe`lektricheskie svojstva blagorodny`x metallov i ix splavov / A. A. Rudniczkij. — Moskva: Izd-vo AN SSSR, 1956. — 147 s. — In Russian.

16. Stil`bans, L. S. Fizika poluprovodnikov / L. S. Stil`bans. — Moskva: Sovetskoe radio, 1967. — 451 s. — In Russian.

17. Metody` issledovaniya termoe`lektricheskix poluprovodnikov / V. M. Glazov [i dr.]. — Moskva: Atomizdat, 1969. — 168 s. — In Russian.

18. Ry`zhkin, A. A. Termodinamicheskie osnovy` povy`sheniya iznosostojkosti instrumental`ny`x rezhushhix materialov: dis. … d-ra texn. nauk. — Kiev, 1985. — 452 s. — In Russian.

19. Tablicy` fizicheskix velichin: spravochnik / pod red. I. K. Kikoina. — Moskva: Atomizdat, 1976. — 1008 s. — In Russian.

20. Kragel`skij, I. V. Osnovy` raschyotov na trenie i iznos / I. V. Kragel`skij, M. N. Doby`chin, V. S. Kombalov. — Moskva: Mashinostroenie, 1977. — 552 s. — In Russian.

21. Dyomkin, N. B. Fakticheskaya ploshhad` kasaniya tvyordy`x poverxnostej / N. B. Dyomkin. — Moskva: Izd-vo AN SSSR, 1967. — 111 s. — In Russian.

22. Ry`zhkin, A. A. K voprosu ob e`lektricheskix yavleniyax pri rezanii metallov / A. A. Ry`zhkin, V. S. Dmitriev, D. V. Krivecz // Izvestiya SKNCz VSh. Texnicheskie nauki. — 1976. — # 2. — S. 24—26. — In Russian.

## FRICTIONAL ELECTRICITY AND TOOL MATERIALS WEAR

**A. A. Ryzhkin, V. E. Burlakova**
(Don State Technical University)

*Thomson spatial heat sources power is determined. It is shown that the heating spatial source helps reduce the total flow quantity entering the plate, and expand heat penetration. The volume cooling source in the tool material plate, conversely, removes an additional quantity of heat from the contact zone increasing the temperature gradient and reducing the heating zone.*

***Keywords:*** *friction, wear, friction pair, thermoemf, thermoelectric effects, Seebeck effect, Peltier effect, current direction.*

УДК 539.215.9:633.11

# Давление сыпучего материала в круглом силосе

**В. Б. Федосеев, О. Н. Серченко, Л. М. Грошев**
(Донской государственный технический университет)

*Рассмотрена задача о распределении давления в сыпучем материале, находящемся в круглом силосе, с позиций вязкой жидкости, обладающей сухим внутренним трением.*
***Ключевые слова:*** *сыпучий материал, круглый силос, боковой коэффициент, коэффициенты трения.*

**Введение.** Как известно, сыпучие материалы обладают как свойствами твёрдого тела, так и свойствами жидкости, что сильно осложняет теоретические исследования. Например, достаточно элементарная задача расчёта давления в сыпучем материале, находящемся в цилиндрической ёмкости, с позиций сплошного твёрдого тела [1] приводит к резкому расхождению с экспериментальными данными.

Та же задача, рассматриваемая с позиций дискретного твёрдого тела, решается в первом приближении только для частиц сферической формы, «уложенных» горизонтальными слоями с правильной геометрической «упаковкой» [2]. При этом учитываются коэффициент трения между сферическими частицами (коэффициент внутреннего трения $\mu_i$) и коэффициент трения частиц о стены ёмкости (коэффициент внешнего трения $\mu_e$), которые определяются экспериментально. И хотя согласие с экспериментом здесь гораздо лучше, такой подход также вызывает справедливые возражения.

Предпринята попытка решить сформулированную выше задачу, представляя сыпучий материал в виде вязкой жидкости с теми же коэффициентами внутреннего ($\mu_i$) и внешнего ($\mu_e$) трения. При таком подходе нет необходимости задаваться формой частиц, их упругостью, упаковкой, размерами и т. д.

**Теоретический расчёт давления в круглом силосе.** Рассмотрим сыпучий материал в глубоком круглом силосе (см. рис. 1).

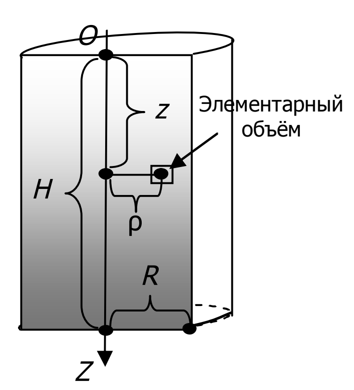



Рис. 1. Сыпучий материал в круглом силосе и цилиндрическая система координат: *H* — высота силоса; *R* — радиус силоса; *z*, ρ — текущие координаты элементарного кольца

В силу симметрии задачи воспользуемся цилиндрической системой координат, в которой можно пренебречь зависимостью от азимутального угла, как показано на рис. 1. В слое сыпучего материала выделим элементарное кольцо, объём которого будет равным: $2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot dz$ .

В стационарном случае сумма сил, действующих на элементарное кольцо, равна нулю. В проекции на ось *OZ* это условие имеет вид:

$$0 = \gamma \cdot g \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot dz - 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot dz \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot dz - \mu_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot dz \cdot \frac{\partial P_\rho}{\partial \rho} \cdot d\rho\,, \qquad (1)$$

где γ — плотность сыпучего материала; $P_z$ — вертикальное, параллельное силе тяжести давление в сыпучем материале; $P_\rho$ — горизонтальное, перпендикулярное силе тяжести давление в сыпучем материале.

Здесь мы, в согласии с экспериментом, полагаем, что закон Паскаля для сыпучих тел не справедлив.

В уравнении (1) первое слагаемое — сила тяжести элементарного кольца, второе — сила сопротивления движению за счёт градиента вертикального давления, третье — сила внутреннего сухого трения.

В проекции на горизонтальное направление это условие имеет вид:

$$0 = 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot dz \cdot \frac{\partial P_\rho}{\partial \rho} \cdot d\rho - \mu_i \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z} \cdot dz\,. \qquad (2)$$

Здесь первое слагаемое — сила сопротивления сжатию (или растяжению) элементарного кольца, обусловленная градиентом горизонтального давления, второе — сила трения на горизонтальных поверхностях кольца.

Из уравнения (1), учитывая (2), получим дифференциальное уравнение для определения вертикальной компоненты давления:

$$0 = \gamma \cdot g \cdot 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot dz - 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d\rho \cdot dz \cdot \left(1 + \mu_i^2\right) \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z}\,. \qquad (3)$$

Проинтегрируем уравнение (3) по координате ρ в пределах от 0 до $R$:

$$0 = \pi \cdot \gamma \cdot g \cdot R^2 \cdot dz - \pi \cdot R^2 \cdot dz \cdot \left(1 + \mu_i^2\right) \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z} + C\,. \qquad (4)$$

Поскольку при таком интегрировании элементарный объём переходит в элементарный слой, то в последнем уравнении первое слагаемое представляет собой силу тяжести, действующую на единицу длины (вдоль радиальной оси) элементарного слоя толщиной $dz$, второе слагаемое — результирующую силу сопротивления (за счёт градиента давления и силы внутреннего трения), действующую на этот элементарный слой. Поскольку уравнение (4) справедливо и на поверхности $\rho = R$, то очевидно, что константа $C$ представляет собой силу трения, действующую на боковую поверхность элементарного слоя со стороны стенки силоса и направленную против силы тяжести:

$$C = -\mu_e \cdot P_\rho \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot dz = -\mu_e \cdot k \cdot P_z \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \cdot dz\,. \qquad (5)$$

Здесь использована связь между вертикальной и горизонтальной компонентами давления через боковой коэффициент $k$: $P_\rho = k \cdot P_z$ (такая зависимость установлена в [3] и рекомендована в СНиП 2.02.02-85).

Общий интеграл уравнения (4) с учётом (5) можно представить в виде:

$$P_z = \frac{\gamma \cdot g \cdot R}{2 \cdot \mu_e \cdot k} + C_1 \cdot \exp\left(-\frac{2 \cdot \mu_e \cdot k \cdot z}{\left(1 + \mu_i^2\right) \cdot R}\right). \qquad (6)$$

Если найти константу $C_1$ из условия, что на поверхности силоса давление равно нулю, то выражение для вертикального давления (без учёта зависимости от горизонтальной координаты) примет вид:

$$P_z = \frac{\gamma \cdot g \cdot R}{2 \cdot \mu_e \cdot k} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot \mu_e \cdot k \cdot z}{\left(1 + \mu_i^2\right) \cdot R}\right)\right). \qquad (7)$$

Соответственно, выражение для горизонтальной компоненты давления запишется в виде:

$$P_\rho = \frac{\gamma \cdot g \cdot R}{2 \cdot \mu_e} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot \mu_e \cdot k \cdot z}{\left(1 + \mu_i^2\right) \cdot R}\right)\right). \tag{8}$$

Для анализа полученного решения найдём разность Δ между весом сыпучего материала в силосе и суммой сил давления на дно силоса $F_D$ и силы трения сыпучего материала о боковую стену $F_{TP}$. Нетрудно убедиться, что эта разность будет равна:

$$\Delta = \frac{\pi \cdot \gamma \cdot g \cdot R^3}{2 \cdot \mu_e \cdot k}\left(1 + \mu_i^2 - 1\right) \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot \mu_e \cdot k \cdot H}{\left(1 + \mu_i^2\right) \cdot R}\right)\right). \tag{9}$$

Из данного выражения видно, что $\Delta = 0$ в том случае, когда $\mu_i = 0$. Таким образом, при выполнении условия равновесия движение сыпучего материала не происходит и внутренним трением можно пренебречь. Из (9) также следует, что если $\mu_i \neq 0$, то сила трения в сумме с силой давления будут меньше силы тяжести, за счёт чего, собственно, и происходит уплотнение сыпучего материала в силосе.

Очевидно, что при $\mu_i \to 0$, $k \to 1$ наступит равновесное состояние (сыпучее тело переходит в идеальную жидкость), давление по горизонтали станет равным давлению по вертикали и, соответственно, решение (7) примет вид:

$$P_0 = \frac{\gamma \cdot g \cdot R}{2 \cdot \mu_e} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot \mu_e \cdot z}{R}\right)\right). \tag{10}$$

Графики зависимости давлений, рассчитанных по формулам (7) и (10), приведены на рис. 2.

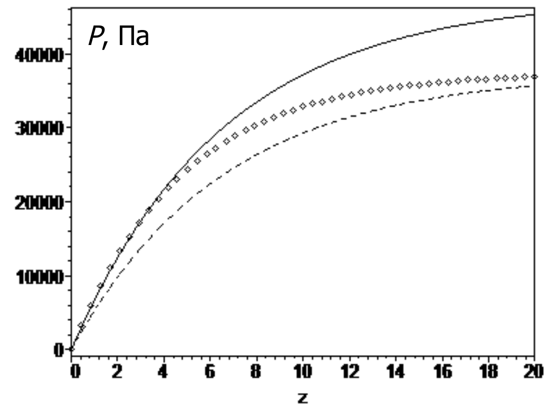



Рис. 2. Вертикальное (сплошная линия) и горизонтальное (пунктирная линия) давление в стационарном состоянии и давление (линия из точек) в равновесном состоянии для круглого силоса с сыпучим материалом ($R$ = 3,5 м, χ = 300°, γ = 800 кг/м$^3$)

Из рисунка следует, что вертикальное давление в стационарном состоянии (сплошная линия) больше давления в равновесном состоянии (линия из точек). В то же время горизонтальное давление в стационарном состоянии меньше давления в равновесном состоянии (пунктирная линия). Следовательно, в равновесном состоянии стены силоса берут на себя большую нагрузку, в результате чего давление на дно уменьшается. Иначе говоря, в стационарном состоянии (при движении сыпучего материала) на стены силоса оказывается меньшая нагрузка, чем в равновесном состоянии, когда сыпучий материал неподвижен.

При нахождении сыпучего материала в силосе формально он не перемещается, следовательно, находится в равновесном состоянии. При этом давление в нём необходимо рассчитывать по формуле (10). Но в действительности в сыпучем материале скачкообразно происходят процессы его уплотнения, слёживания под действием микроколебаний сейсмического или техногенного

характера, т. е. он находится в состоянии микродвижения. Таким образом, сыпучий материал часть времени «проводит» в стационарном состоянии, а часть — в равновесном. Соответственно, давление также меняется скачкообразно.

Введём теперь в решение (7) зависимость от координаты ρ. Аналогично [3] эту зависимость представим в виде:

$$P_z = \frac{\gamma \cdot g \cdot R}{2 \cdot \mu_e \cdot k} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot \mu_e \cdot k}{1+\mu_i^2} \cdot \frac{z - (R-\rho) \cdot \mathrm{tg}\,\chi}{R}\right)\right), \tag{11}$$

где χ — угол естественного откоса.

Потребуем теперь, чтобы решение (11) удовлетворяло уравнению (2) с учётом того, что $P_\rho = k \cdot P_z$:

$$k \cdot \frac{\partial P_z}{\partial \rho} = \mu_i \cdot \frac{\partial P_z}{\partial z}. \tag{12}$$

Найдя первые производные от (11) по координатам ρ и *z* и подставив их в равенство (12), получаем, что оно выполняется только при $k \cdot \mathrm{tg}\,\chi = \mu_i$, т. е.

$$k = \frac{\mu_i}{\mathrm{tg}\,\chi}. \tag{13}$$

Это выражение для бокового коэффициента совпадает с результатом, полученным в [3] для сыпучего материала, находящегося в насыпи.

Однако решение в форме (11) не удовлетворяет граничному условию на поверхности *z* = 0. Поэтому для нахождения более точного решения разобьём весь объём силоса, занятый сыпучим материалом, на области (рис. 3).

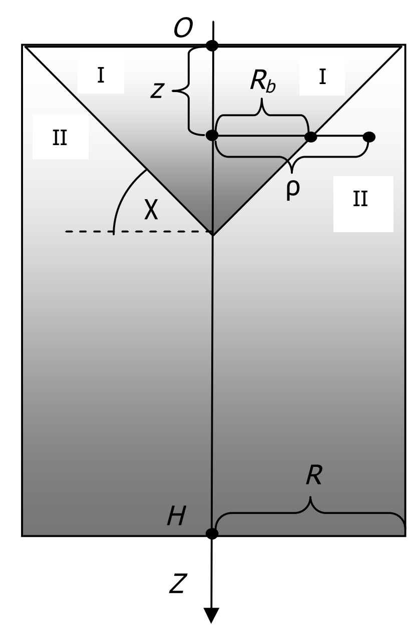



Рис. 3. Деление силоса на области: *H* — высота силоса; *R* — радиус силоса; χ — угол естественного откоса; *z*, ρ — текущие координаты элементарного кольца; $R_b$ — произвольная точка на границе областей I и II

Поскольку в области I влияние стенок силоса ещё не будет сказываться (эта область расположена выше плоскости естественного откоса), то в этой области решение будет определяться формулой [3]:

$$P_z^{\mathrm{I}}(z)=\frac{\gamma\cdot g}{1+\mu_i^2}\cdot z\,. \qquad (14)$$

Решение в области II будем искать в виде:

$$P_z^{\mathrm{II}}(\rho,z)=\frac{\gamma\cdot g\cdot R}{2\cdot\mu_e\cdot k}\cdot\left(1-\exp\left(-\frac{2\cdot\mu_e\cdot k}{1+\mu_i^2}\cdot\frac{z-(R-\rho)\cdot\operatorname{tg}\chi}{R}\right)\right)+\frac{\gamma\cdot g}{1+\mu_i^2}\cdot(R-\rho)\cdot\operatorname{tg}\chi\,. \qquad (15)$$

На линии $z = 0$ решение (15) обращается в нуль, на боковой стенке силоса (при $\rho = R$) оно переходит в уравнение (7), а на поверхности естественного откоса (на границе областей), определяемой уравнениями $\rho = R_b$, $z=(R-R_b)\cdot\operatorname{tg}\chi$, уравнение (15) переходит в уравнение (14). Таким образом, согласование решений в областях I и II выполнено.

В случае, когда сыпучий материал находится в силосе с абсолютно гладкими стенами ($\mu_e \to 0$), решение (15) примет вид:

$$\lim_{\mu_e\to 0}P_z^{\mathrm{II}}=\frac{\gamma\cdot g}{1+\mu_i^2}\cdot\left[z-(R-\rho)\cdot\operatorname{tg}\chi\right]+\frac{\gamma\cdot g}{1+\mu_i^2}\cdot(R-\rho)\cdot\operatorname{tg}\chi=\frac{\gamma\cdot g}{1+\mu_i^2}\cdot z\,.$$

Это означает, что сыпучий материал в этом случае ведёт себя как безграничная насыпь и влиянием стенок можно пренебречь, что не противоречит физическому смыслу задачи.

Итак, мы видим, что решения (14) и (15) удовлетворяют граничным условиям и предельному переходу к идеальной жидкости.

Таким образом, для идеального сыпучего материала в круглом силосе найдено вертикальное давление (15). Горизонтальное давление определяем из выражения (15) с учётом выражения (13) для бокового коэффициента.

На рис. 4 показана зависимость вертикального и горизонтального давления, рассчитанного по формулам (14) и (15), в силосе радиуса $R$ = 3,5 м, в котором находится сыпучий материал ($\gamma$ = 800 кг/м$^3$, $\chi$ = 30°), непосредственно вдоль его стенки и по центру силоса. Как видно из рисунка, вертикальное давление по осевой линии силоса ($\rho$ = 0) несколько выше вертикального давления у стенки силоса ($\rho = R$) и, кроме того, горизонтальное давление меньше вертикального.

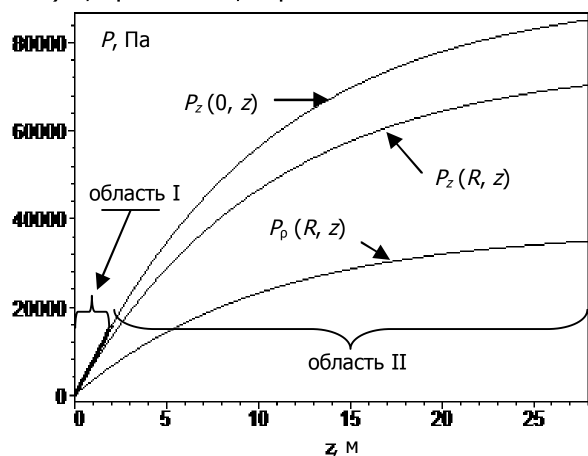



Рис. 4. Зависимость вертикального и горизонтального давления от координаты $z$: $P_z(0, z)$ — вертикальное давление на оси силоса; $P_z(R, z)$ — вертикальное давление у стенки силоса; $P_\rho(R, z)$ — горизонтальное давление у стенки силоса; радиус силоса $R$ = 3,5 м; угол естественного откоса $\chi$ = 30°; плотность сыпучего материала $\gamma$ = 800 кг/м$^3$; $\mu_i$ = 0,287; $\mu_e$ = 0,364

На рис. 5, 6 представлены графики сравнения теоретических кривых (непрерывные линии) и экспериментальных значений [4]. На рис. 5 показана зависимость горизонтального давления на стену круглого железобетонного силоса высотой $H$ = 21 м и радиусом $R$ = 3,25 м, а на

рис. 6 — зависимость силы давления на дно стального круглого силоса высотой $H$ = 6 м и радиусом $R$ = 0,5 м.

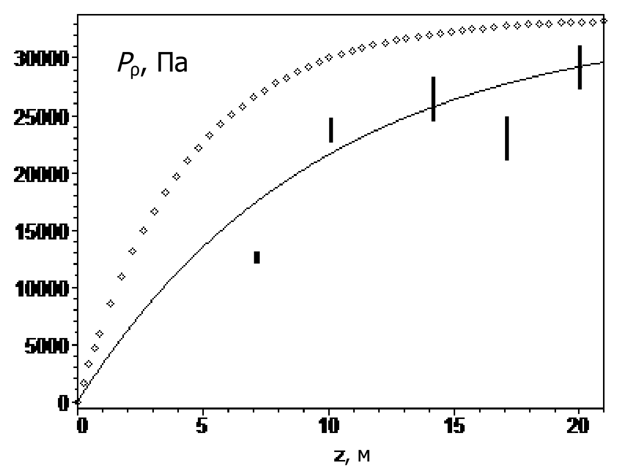



Рис. 5. Теоретическое горизонтальное стационарное (сплошная линия) и равновесное (линия из точек) давление в круглом железобетонном силосе ($H$ = 21 м, $R$ = 3,25 м, χ = 30°); вертикальные линии — разброс экспериментальных значений

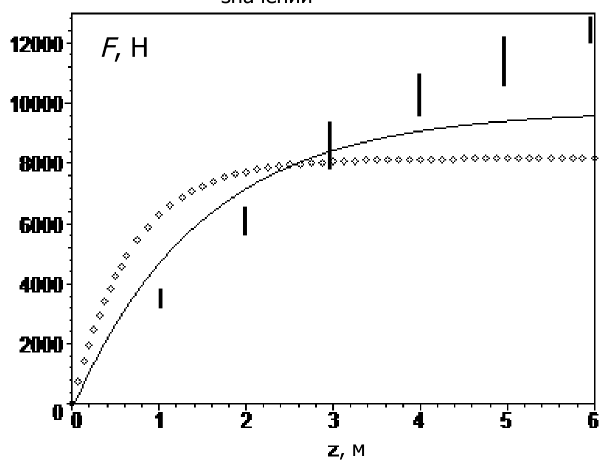



Рис. 6. Теоретическая сила давления на дно стального круглого силоса ($H$ = 6 м, $R$ = 0,5 м) от высоты засыпки: сплошная линия — стационарное состояние, линия из точек — равновесное (χ = 30°); вертикальные линии — разброс экспериментальных значений

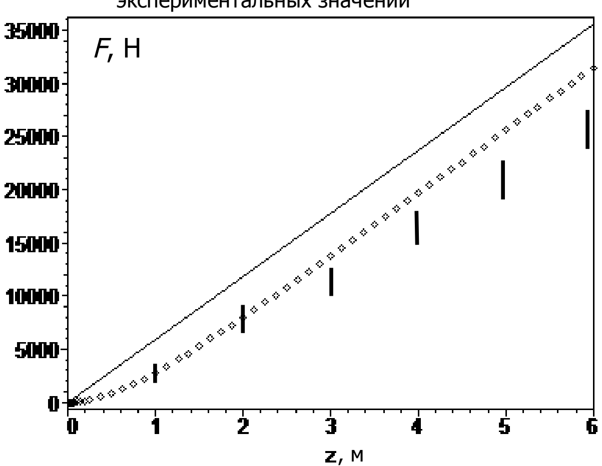



Рис. 7. Зависимость силы трения на боковую стенку круглого стального силоса ($H$ = 6 м, $R$ = 0,5 м, χ = 30°) от высоты засыпки: стационарное состояние — сплошная линия, равновесное — линия из точек, вертикальные линии — разброс экспериментальных значений

На рис. 7 представлена зависимость силы трения, действующей на боковую стенку стального круглого силоса высотой $H$ = 6 м и радиусом $R$ = 0,5 м, от высоты засыпки.

Как видно из рисунков, разброс экспериментальных данных достаточно велик. Кроме того, само горизонтальное давление по направлениям сторон света разное [4].

**Выводы.** Очевидно, что этот разброс экспериментальных значений связан с процессами уплотнения сыпучего материала, со временем его выдержки в силосе, а также с тем, с какого направления идут микровибрации сейсмического или техногенного характера. Сыпучий материал в силосе всё время находится в промежуточном положении между стационарным и равновесным состояниями. Кроме того, сами параметры сыпучего материала (насыпная плотность, углы внешнего и внутреннего трения) являются некоторыми обобщёнными, мало соответствующими конкретному сыпучему материалу и, к тому же, меняющимися с течением времени. Поэтому более точного согласия с экспериментальными данными ожидать трудно.

Но из сравнения с экспериментальными данными всё же можно сделать вывод, что состояние сыпучего материала ближе к стационарному, чем к равновесному.

Таким образом, подход к сыпучему материалу как к вязкой жидкости приводит к согласию с экспериментальными данными при минимальном количестве необходимых допущений.

**Библиографический список**

1. Соколовский, В. В. Статика сыпучей среды / В. В. Соколовский. — Москва: Физматгиз, 1960. — 241 с.

2. Гячев, Л. В. Основы теории бункеров / Л. В. Гячев. — Новосибирск: Изд-во Новосибир. ун-та, 1992. — 312 с.

3. Федосеев, В. Б. Боковой коэффициент и давление в насыпи сыпучего материала / В. Б. Федосеев, А. Б. Гордеева // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Сер. Естеств. науки. — 2010. — № 2. — С. 58—60.

4. Хаймович, М. И. Опытное определение давления зерна в силосах / М. И. Хаймович // Строительная промышленность. — 1944. — № 5—6.

Материал поступил в редакцию 16.12.2011.

**References**

1. Sokolovskij, V. V. Statika sy`puchej sredy` / V. V. Sokolovskij. — Moskva: Fizmatgiz, 1960. — 241 s. — In Russian.

2. Gyachev, L. V. Osnovy` teorii bunkerov / L. V. Gyachev. — Novosibirsk: Izd-vo Novosibir. un-ta, 1992. — 312 s. — In Russian.

3. Fedoseev, V. B. Bokovoj koe`fficient i davlenie v nasy`pi sy`puchego materiala / V. B. Fedoseev, A. B. Gordeeva // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Ser. Estestv. nauki. — 2010. — # 2. — S. 58—60. — In Russian.

4. Xajmovich, M. I. Opy`tnoe opredelenie davleniya zerna v silosax / M. I. Xajmovich // Stroitel`naya promy`shlennost`. — 1944. — # 5—6. — In Russian.

## BULK MATERIAL PRESSURE IN ROUND SILO

**V. B. Fedoseyev, O. N. Serchenko, L. M. Groshev**
(Don State Technical University)

*The problem on pressure distribution in the bulk material of the round silo with allowance for viscous fluid with dry internal friction is considered.*

***Keywords:*** *bulk material, round silo, lateral factor, friction factors.*

УДК 631.3-192:33

# Управление надёжностью машин на основе экономических критериев

**И. А. Хозяев, В. В. Радин**
(Донской государственный технический университет)

*Представлена методика выделения из производственных затрат на изготовление машины части, относящейся непосредственно к надёжности. Это даёт возможность управлять надёжностью машин на этапе их производства. Методика формализована и может быть использована применительно к любым машиностроительным изделиям.*
***Ключевые слова:*** *надёжность, производственные затраты, комплексный показатель качества продукции, регрессионный анализ.*

**Введение.** Надёжность машин оказывает существенное влияние на их технико-экономические показатели. Низкая надёжность приводит к простоям машин, снижению их выработки. Например, в сельском хозяйстве из-за низкой надёжности машин для механизации животноводства на 12—15 % недоиспользуется генетически обусловленный потенциал животных и птицы, что оборачивается потерями продукции на миллионы рублей.

Затраты на поддержание работоспособного состояния машин в 5—6 раз превышают их первоначальную стоимость [1].

Надёжность закладывается при проектировании. Требования к уровню показателей надёжности машин должны опираться на экономические расчёты. Наилучший вариант — когда показатели надёжности являются оптимальными.

Традиционный подход при повышении надёжности машин предлагает выделить из суммы производственных расходов затраты, связанные с надёжностью, и, регулируя эти затраты, управлять надёжностью [2, 3]. Однако главные трудности и заключаются в выделении затрат на надёжность, поскольку она связана со всеми группами показателей, характеризующих машину (назначения, технологичности, экономики, стандартизации, экологичности).

**Постановка задачи.** Тем не менее эту задачу можно решить и создать методику для выделения затрат на надёжность, если использовать такое понятие, как комплексный показатель качества продукции.

Комплексный показатель качества продукции вычисляется по формуле

$$K_{кп} = M_{к1}K_{к1} + M_{к2}K_{к2} + \ldots + M_{кп}K_{кп} = \sum_{i=1}^{n} M_{кi}K_{кi}\ , \tag{1}$$

где $K_{к1}$ — приведённые оценки простых (единичных) свойств; $M_{к1}$ — весомость этих свойств.

$$M_{к1} = M_{к1} + M_{к2} + \ldots + M_{кп} = \sum_{i=1}^{n} M_{кi}\ .$$

Выбор количества единичных свойств обусловливается прежде всего функциональным назначением изделия и его влиянием на стоимостные показатели машины. Поскольку это важный исходный момент оценки качества, то для выбора номенклатуры единичных свойств разработано достаточно методов [4, 5].

Для рассматриваемого случая существенным является выбор показателей надёжности, и наиболее подходящий из них — вероятность безотказной работы $P_м(t)$, которая определяет условия безотказного функционирования машины за какой-либо отрезок времени. Абсолютные значения остальных единичных показателей качества устанавливаются на основе значений технической документации, например, карт технического уровня и качества продукции и т. п.

Комплексный показатель качества продукции является относительным, поскольку он рассчитывается относительно качества машины, принятой за базу. Для этих целей и вводится приведённая оценка $K_{\kappa i}$, которая определяется путём сравнения каждого индивидуального показателя изучаемой машины с соответствующим базовым.

$$K_{\kappa i} = \frac{Z_i}{Z_{баз}} \text{ или } K_{\kappa i} = \frac{Z_{i\ баз}}{Z_i},$$

где $Z_i$ и $Z_{i\,баз}$ — единичные свойства рассматриваемой и базовой машины [6].

Выбор формулы для приведения определяется из соображения, чтобы увеличение $K_i$-го свойства соответствовало улучшению качества продукции.

Для $P_м(t)$ лучше использовать формулу приведения в виде

$$K_{\kappa i} = \frac{P_{i\ \max}(t) - P_{i\ баз}(t)}{P_{i\ \max}(t) - P_i(t)}, \tag{2}$$

где $P_{i\ \max}(t)$ — максимально возможное значение оцениваемого показателя надёжности.

Если принять, что $P_{i\ \max}(t) = 1$, то (2) запишется в виде

$$K_{\kappa i} = \frac{1 - P_{i\ баз}(t)}{1 - P_i(t)}.$$

Это уравнение хорошо отражает то положение, что, чем ближе показатель надёжности рассматриваемой машины к единице, тем, соответственно, быстрее растёт значение его оценки. С другой стороны, чем больше приближена $P_i(t)$ к единице, тем быстрее должна расти стоимость изделия.

Следовательно, рассматриваемая оценка правильно отражает существо показателя надёжности и его связь с затратами на производство.

Единичных показателей качества достаточно много, тем не менее, по степени влияния на производственные расходы их можно разделить на две группы. Первая характеризуется тем, что улучшение единичных показателей увеличивает себестоимость машины (показатели назначения, надёжности, эргономики и т. д.), вторая — тем, что улучшение её показателей снижает себестоимость машины (технологичность, стандартизация, унификация).

В этой связи можно разделить комплексный показатель качества на два — $K_{кп1}$ и $K_{кп2}$.

$$K_{кп1} = \sum_{i=1}^{n} M_{\kappa i} K_{\kappa i} \text{ и } K_{кп2} = \sum_{j=1}^{m} M_{\kappa j} K_{\kappa j}. \tag{3}$$

Показатель безотказности включён в $K_{кп1}$. Выделим его из общей суммы, тогда $K_{кп1}$ будет иметь вид:

$$K_{кп1} = \sum_{i=1}^{n-1} M_{\kappa i} K_{\kappa i} + M_б \cdot K_б, \tag{4}$$

где $M_б$ — весомость показателя безотказности; $K_б$ — относительная оценка показателя безотказности.

Если в уравнение (4) подставить значение $K_{\kappa i}$ из уравнения (2), то формула для $K_{кп1}$ примет вид

$$K_{кп1} = \sum_{i=1}^{n-1} M_{\kappa i} K_{\kappa i} + M_б \left[ \frac{1 - P_{м\ баз}(t)}{1 - P_м(t)} \right]. \tag{5}$$

На величину производственных затрат $C_{пр}$ влияет множество факторов. Очевидно, связь между ними и качеством продукции будет носить стохастический характер. Из-за множества

факторов определить закон распределения $C_{пр}$ для машины с ресурсом $t_р$ не представляется возможным.

Для того чтобы сохранить стохастический характер затрат на производство и эксплуатацию машин, но избежать необходимости устанавливать какой-либо закон их распределения, нахождение взаимосвязи между затратами и надёжностью можно произвести при помощи теории корреляционно-регрессионного анализа [7].

Комплексный показатель качества был разделён на два — $K_{кп1}$ и $K_{кп2}$. Следовательно, для производственных затрат необходимо использовать уравнение регрессии нескольких переменных. В таком случае зависимость $C_{пр}$ от $K_{кп1}$ и $K_{кп2}$ будет иметь вид:

$$C_{пр} = b_0 \left(K_{кп1}\right)^{b_1} \left(K_{кп2}\right)^{b_2}, \qquad (6)$$

где $b_0$, $b_1$, $b_2$ — коэффициенты регрессии.

Подставив в (6) значения $K_{кп1}$ и $K_{кп2}$ из (3) и (5), получим:

$$C_{пр} = b_0 \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} M_{кi} K_{кi} + M_б \frac{\left[1 - P_{м\ баз}(t)\right]}{\left[1 - P_м(t)\right]} \right\}^{b_1} \left( \sum_{j=1}^{m} M_{кj} K_{кj} \right)^{b_2}. \qquad (7)$$

Для установления взаимосвязи между $C_{пр}$ и надёжностью выражениям $\sum_{i=1}^{n} M_{кi} K_{кi}$ и $\left( \sum_{j=1}^{m} M_{кj} K_{кj} \right)^{b_2}$ необходимо придать постоянные значения, соответствующие рассматриваемой машине. Тогда уравнение (7) приобретёт вид:

$$C_{ср} = d_1 \left[ d_2 + \frac{d_3}{1 - P_м(t)} \right]^{b_1}, \qquad (8)$$

где $d_1$, $d_2$, $d_3$ — постоянные коэффициенты.

Эксплуатационные затраты зависят от одного фактора — надёжности. Для них используем уравнение регрессии одного переменного.

Тогда

$$C_э = a_э \left[P_м(t)\right]^{b_э}, \qquad (9)$$

где $a_э$ и $b_э$ — коэффициенты регрессии.

Так как производственные затраты являются единовременными, а эксплуатационные растянуты на весь срок службы, то они должны быть приведены к одному моменту времени (году выпуска машины).

Если для вывода уравнения регрессии используются значения $C_{пр}$ машин разных лет выпуска, то и производственные затраты должны быть приведены к одному моменту времени.

Суммарные затраты сложатся из производственных и эксплуатационных

$$C_c = d_1 \left[ d_2 + \frac{d_3}{1 - P_м(t)} \right]^{b_1} + a_э \left[P_м(t)\right]^{b_э}. \qquad (10)$$

Оптимальному уровню надёжности соответствует минимум суммарных затрат на разработку, производство и эксплуатацию машины.

$$\frac{d\left\{C_c\left[P_{моп}(t)\right]\right\}}{\left[P_м(t)\right]} = 0.$$

Зная $P_{моп}(t)$, можно пересчитать и другие показатели надёжности по известным зависимостям.

Подстановкой значения $P_{моп}(t)$ в уравнение (10) определяются оптимальные производственные затраты $C_{про}$. Разница между $C_{про}$ и $C_{пр}$ даёт размер необходимых вложений для повышения надёжности до оптимального уровня.

$$\Delta C_{пн} = C_{про} - C_{пр}. \qquad (11)$$

После того как определено значение $P_{моп}(t)$ и $\Delta C_{пн}$, необходимо произвести распределение $\Delta C_{пн}$ по системам или сборочным единицам машины.

Для этого устанавливается взаимосвязь между стоимостью системы и её надёжностью в виде уравнений

$$\left.\begin{array}{l} C_{c1} = f_1 P_{c1}(t) \\ C_{c2} = f_2 P_{c2}(t) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ C_{ci} = f_i P_{ci}(t) \end{array}\right\}. \qquad (12)$$

Далее определяется стоимость повышения доли надёжности, например 0,001 $P_{ci}(t)$, на основе уравнений (12) в виде

$$\Delta C_{ci} = 0{,}001 f_i P_{ci}(t). \qquad (13)$$

На основе структурной схемы надёжности машины, состоящей из $n_c$ систем, устанавливается оптимальный уровень надёжности каждой системы, входящей в машину:

$$P_{моп}(t) = \prod_{i=1}^{n_c} P_{co}(t).$$

Затем определяется необходимая степень повышения надёжности каждой системы до оптимального уровня из условия

$$\Delta P_{ci}(t) = P_{co}(t) - P_{ci}(t). \qquad (14)$$

По уравнению (13) определяется доля $\Delta C_{пн}$, вкладываемая в каждую систему.

Затем должна быть произведена окончательная проверка по условию:

$$\sum_{i=1}^{n_c} \Delta C_{ci} = \Delta C_{пн}. \qquad (15)$$

Таким образом, на основе имеющейся информации о производстве и эксплуатации, по разработанным моделям можно устанавливать оптимальный уровень надёжности машины и определить пути её дальнейшего повышения.

**Анализ решения.** По разработанной методике была проанализирована конструкция силосоуборочного комбайна КСК-100А-А.

Обобщённый показатель качества определялся на основе единичных показателей для машин различных лет выпуска. За базовую была принята машина 2005 года выпуска. Приведение показателей в соразмерный вид и их относительная оценка производились по общепринятым методикам [6]. Простые показатели качества и их динамика изменения по годам выпуска приведены в табл. 1.

Как и в предыдущем случае — обобщённый показатель качества затем разбивался на два: $K_{кп1}$ — показатель, объединяющий группу свойств, улучшение которых увеличивает производственные затраты; $K_{кп2}$ — показатель, объединяющий группу свойств, при улучшении которых производственные затраты уменьшаются.

*Таблица 1*

**Значения простых показателей качества комбайна КСК-100А-А**

| Показатели | Значения показателей, % | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| Назначения | 23,1 | 23,63 | 24,32 | 25,76 |
| Надёжности | 20,4 | 19,89 | 20,57 | 20,58 |
| Технологичности | 16,8 | 16,84 | 16,87 | 16,88 |
| Эргономические | 10,2 | 10,99 | 12,49 | 12,19 |
| Технико-эстетические | 4,6 | 4,60 | 4,60 | 4,60 |
| Стандартизации и унификации | 7,7 | 8,58 | 9,22 | 9,24 |
| Патентно-правовые | 5,4 | 5,73 | 5,97 | 5,97 |
| Экономические | 11,8 | 11,80 | 11,80 | 12,64 |

Расчётные значения обобщённого показателя $K_К$, а также значения $K_{кп1}$, $K_{кп2}$ за четыре года выпуска машины представлены в табл. 2.

*Таблица 2*

**Значения обобщённого показателя $K_К$ и составляющих $K_{кп1}$, $K_{кп2}$ комбайна КСК-100А-А, %**

| Показатель, % | Год выпуска | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| $K_К$ | 100,0 | 102,070 | 105,843 | 108,068 |
| $K_{кп1}$ | 63,7 | 64,846 | 67,954 | 69,809 |
| $K_{кп2}$ | 36,3 | 37,224 | 37,889 | 38,259 |

Найденные значения $K_{кп1}$ и $K_{кп2}$, включающие в себя в открытой форме показатели надёжности, являются случайными величинами. В конечном итоге на основе регрессионного анализа была получена следующая функция производственных затрат

$$C_п = 4{,}519 \cdot 10^9 \cdot K_{кп1}^{3{,}653} \cdot K_{кп2}^{-9{,}585}. \quad (16)$$

Подставив в уравнение (16) значения $K_{кп1}$ и $K_{кп2}$ из табл. 2 и придав единичным показателям, входящим в обобщённый (за исключением надёжностного), постоянные значения, соответствующие годам выпуска, получим уравнение, связывающее производственные затраты на изготовление комбайна КСК-100А-А с уровнем его надёжности:

$$C_п = 6{,}4131 \cdot 10^{-3} \cdot \left(56{,}7 + \frac{2{,}408}{1 - P_м(t)}\right)^{3{,}653}, \quad (17)$$

где $P_м(t)$ — вероятность безотказной работы комбайна.

Эксплуатационные затраты $C_э$ практически зависят от одного фактора — надёжности.

В результате анализа данных испытаний комбайна зависимость $C_э$ от $P_м(t)$ принимает вид:

$$C_э = 356{,}84 \cdot \left[P_м(t)\right]^{-7{,}659} + 20000. \quad (18)$$

Суммарные затраты складываются из производственных и эксплуатационных. Функция суммарных затрат выглядят таким образом:

$$C_р = 6{,}4131 \cdot 10^{-3} \cdot \left(56{,}7 + \frac{2{,}408}{1 - P_м(t)}\right)^{3{,}653} + 356{,}84 \cdot \left[P_м(t)\right]^{-7{,}659} + 20000. \quad (19)$$

Для определения оптимального значения вероятности безотказной работы комбайна первая производная от выражения (19) приравнивалась к нулю. Таким образом, было получено, что

$$C_p' = 2,3427 \cdot 10^{-2} \cdot \left(56,7 + \frac{2,408}{1 - P_м(t)}\right)^{3,653} \cdot \frac{2,408}{\left(1 - P_м(t)\right)^2} - 2733,04 \cdot \left[P_м(t)\right]^{-8,659}. \quad (20)$$

Решение уравнения (20) производилось численным методом. В результате было получено оптимальное значение вероятности безотказной работы комбайна $P_{м0}(t) = 0,724$, которое на 9,9 % выше максимального, достигнутого в 2008 г.

По уравнениям (17) и (18) для оптимального значения $P_{м0}(t)$ были рассчитаны соответствующие ему значения производственных и эксплуатационных затрат. В связи с инфляцией и колебаниями цен, затраты в формулах представлены в у. е.

$C_{по}$ = 164 377,4 у. е. (по ценам 2008 г. ≈ 4 109 425 руб.). В настоящее время продажная цена комплекса «Полесье» по каталогам составляет ≈ 6 832 000 руб.

$C_{эо}$ = 731 100 у. е. (на 7 лет службы).

Таким образом, для достижения оптимального уровня надёжности комбайна КСК-100А-А необходимо увеличить производственные затраты на $\Delta C_п$ = 2526,1 у. е. При этом эксплуатационные затраты сократятся на 4641,08 у. е.

Для нахождения $P_{сб}(t)$ сборочных единиц, соответствующих полученному значению $P_{м0}(t) = 0,724$, была построена структурная схема надёжности машины. Анализ показал, что она представляет собой систему последовательно соединённых элементов. Тогда из условия равнонадёжности всех систем получается, что $P_{сбi}(t) = 0,9599$. Для разнесения величины $\Delta C_п$ = = 2526,1 у. е. по сборочным единицам в соответствии с их надёжностью были построены функции затрат на их производство. По этим функциям была оценена стоимость повышения $P_{сбi}(t)$ каждой сборочной единицы на 0,001. Затем на основе разницы между фактическим и оптимальным уровнем надёжности сборочных единиц и функций цеховых затрат на их производство был произведён расчёт необходимых вложений в сборочные единицы.

Для достижения оптимальных значений показателей надёжности рекомендуется следующее распределение денежных средств по системам и агрегатам комбайна КСК-100А-А:

– подборщик — 579 у. е.;

– основная машина — 1314 у. е.;

– жатка — 203 у. е.

Таким образом, на основе разработанной методики был определён оптимальный уровень надёжности комбайна, рассчитан объём дополнительных вложений в производство и намечены системы, вложение средств в которые обеспечит ожидаемый эффект.

**Выводы.** 1. Разработанная методика позволяет выделить из структуры производственных затрат долю, приходящуюся на надёжность, что даёт возможность управлять надёжностью силосоуборочного комбайна.

2. Анализ надёжности силосоуборочного комбайна КСК-100А-А показал, что её уровень ниже оптимального, для достижения которого в производственные расходы на изготовление комбайна необходимо вложить 2526,1 у. е., при этом эксплуатационные затраты сократятся на 4641 у. е.

3. Разработанная методика полностью формализована и может быть использована для любых изделий машиностроения.

**Библиографический список**

1. Проников, А. С. Надёжность машин / А. С. Проников. — Москва: Машиностроение, 1988. — 590 с.

2. Жак, С. В. Оптимизация проектных решений в машиностроении / С. В. Жак. — Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1988. — 168 с.

3. Кузьмин, Ф. И. Задачи и методы оптимизации / Ф. И. Кузьмин. — Москва: Советское радио, 1982. — 225 с.

4. РТМ 105-0-063-88. Оценка уровня качества машин и оборудования для животноводства и кормопроизводства. — Москва: Минживмаш, 1988. — 30 с.

5. Методика выбора показателей для оценки надёжности сложных технических систем. — Москва: Гос. комитет стандартов СССР, Всесоюзный НИИ стандартизации, 1987. — 43 с.

6. Методика сравнения надёжности продукции с аналогами. — Москва: Изд-во стандартов, 1989. — 17 с.

7. Драйкер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Драйкер, Г. Смит. — Москва: Статистика, 1983. — 392 с.

Материал поступил в редакцию 19.12.2011.

**References**

1. Pronikov, A. S. Nadyozhnost` mashin / A. S. Pronikov. — Moskva: Mashinostroenie, 1988. — 590 s. — In Russian.

2. Zhak, S. V. Optimizaciya proektny`x reshenij v mashinostroenii / S. V. Zhak. — Rostov-na-Donu: Izd-vo RGU, 1988. — 168 s. — In Russian.

3. Kuz`min, F. I. Zadachi i metody` optimizacii / F. I. Kuz`min. — Moskva: Sovetskoe radio, 1982. — 225 s. — In Russian.

4. RTM 105-0-063-88. Ocenka urovnya kachestva mashin i oborudovaniya dlya zhivotnovodstva i kormoproizvodstva. — Moskva: Minzhivmash, 1988. — 30 s. — In Russian.

5. Metodika vy`bora pokazatelej dlya ocenki nadyozhnosti slozhny`x texnicheskix sistem. — Moskva: Gos. komitet standartov SSSR, Vsesoyuzny`j NII standartizacii, 1987. — 43 s. — In Russian.

6. Metodika sravneniya nadyozhnosti produkcii s analogami. — Moskva: Izd-vo standartov, 1989. — 17 s. — In Russian.

7. Drajker, N. Prikladnoj regressionny`j analiz / N. Drajker, G. Smit. — Moskva: Statistika, 1983. — 392 s. — In Russian.

## MACHINE RELIABILITY CONTROL BASED ON ECONOMIC CRITERIA

**I. A. Khozyayev, V. V. Radin**
(Don State Technical University)

*The technique of separating the part directly relating to reliability from the machine production cost is presented. It enables to operate machine reliability at the production stage. The technique is formalized, and it can be applied to any engineering products.*
***Keywords:*** *reliability, production cost, criterion of performance, regression analysis.*

УДК 621:531.3

# Теоретическое исследование виброакустических характеристик при динамических испытаниях на циклическую прочность

**С. А. Шамшура, И. В. Богуславский, А. Н. Чукарин**
(Донской государственный технический университет)

*Приведены результаты теоретических исследований возбуждения вибраций и излучения шума оборудования для динамических испытаний лонжеронов вертолётов. Получены зависимости для определения спектров вибраций в рабочей зоне операторов.*
***Ключевые слова:*** *виброакустические характеристики, динамические испытания.*

**Введение.** Вопросы вибро- и шумозащиты всегда были актуальны в машиностроительном производстве. В настоящее время это связано с усилением контроля соблюдения санитарных норм и правил [1] на рабочих местах, что в конечном итоге повышает производительность труда.

Измерения и анализ уровней шума и вибраций согласно [2], проведённые сотрудниками университета на участке динамических испытаний лонжеронов лопастей вертолётов на циклическую прочность ОАО «Роствертол», показали, что проведение мероприятий по шумо- и виброзащите позволит существенно улучшить условия труда. В ходе экспериментов было установлено, что стенд для динамических испытаний лонжеронов лопастей вертолёта выступает и как источник шума, генерируемого колебаниями протяжённого лонжерона, вибровозбудителя и тросов натяжения, и как источник вибраций, возникающих главным образом в результате колебаний опор стенда и передаваемых в цеховое пространство через их основание.

**Результаты исследований.** Рассмотренная в данной работе математическая модель стенда динамических испытаний лонжеронов лопастей вертолёта является базовой для дальнейших работ по расчёту средств виброзащиты в лаборатории динамических испытаний (ЛДИ) ОАО «Роствертол».

Стенд для динамических испытаний лонжеронов лопастей вертолёта представляет собой сложную конструкцию, состоящую из следующих подсистем (рис. 1):

- подсистема опоры со стороны лонжерона *1*;
- подсистема опоры со стороны системы натяжения *2*;
- подсистема тросов натяжения *3*;
- подсистема лонжерона *4*;
- подсистема вибровозбудителя *5*.

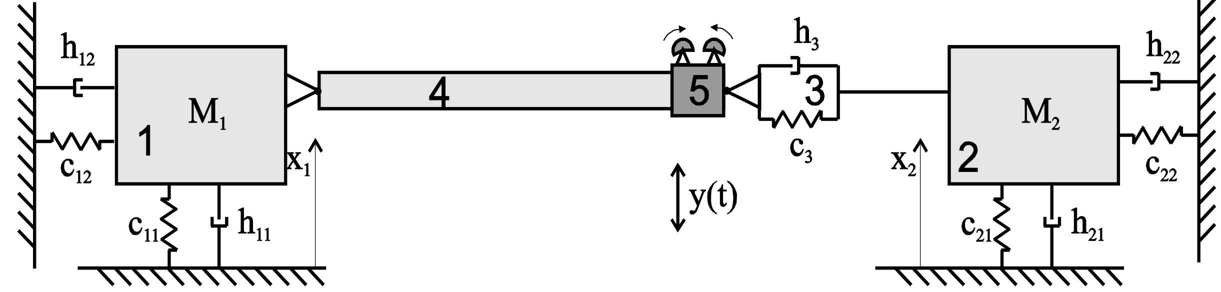


Рис. 1. Структурная схема стенда динамических испытаний лопасти вертолёта

Рассмотрим более подробно структуру стенда. Опоры со стороны лонжерона *1* и со стороны системы натяжения *2*, массами $M_1$ и $M_2$ соответственно, соединены с полом цеха упруго-

диссипативными связями. Жёсткость $c_{ij}$ и диссипация $h_{ij}$ связей ($i=\overline{1,2}$, $j=\overline{1,2}$) в общем случае нелинейно зависят от смещений $x_i$ и скоростей $\dot{x}_i$.

Подсистема натяжения *3* представляет собой систему стальных тросов, с помощью которой осуществляется предварительный натяг лонжерона в стенде. С точки зрения излучения звуковых колебаний эта подсистема представляет собой набор струн. Однако для задачи исследования передачи вибрации в опоры стенда её можно заменить упруго-диссипативной связью, как это сделано на структурной схеме.

Возбудитель колебаний представляет собой два эксцентрика, закреплённых на правом конце лонжерона, и для уменьшения колебаний в продольном направлении вращающихся навстречу друг другу. Вращение производится от электродвигателя постоянного тока (на схеме не показан) с приводом через упругую муфту, практически исключающую передачу колебаний на двигатель.

Эксцентрики имеют форму полуцилиндров, сумма несбалансированных масс эксцентриков равна $m$, расстояние от несбалансированной массы до оси вращения — $r$, циклическая частота вращения $\omega$ может регулироваться. Общая масса эксцентриков с системой закрепления равна $M_3$.

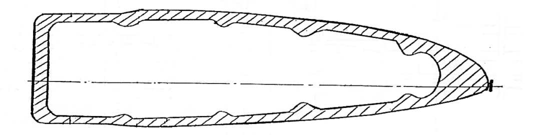


Рис. 2. Сечение лонжерона лопасти вертолёта

Лонжерон лопасти вертолёта *4* имеет каплевидное сечение (рис. 2). Конструкция стенда позволяет рассматривать лонжерон как балку, шарнирно закреплённую с одного конца. Известно, что такая балка будет иметь $n$ собственных частот и её математическая модель может быть аппроксимирована в виде системы с $n$ сосредоточенными массами и соответствующими частотами и коэффициентами затухания.

Учтены также особенности закрепления опор, которые позволяют представить их как массивные призмы, шарнирно закреплённые одним углом и связанные с основанием упруго-диссипативной связью.

Возможность моделирования подсистемы лонжерона *4* (рис. 3) в виде гармонического осциллятора [3] дополнительно можно обосновать резонансным режимом работы стенда динамических испытаний, обеспечиваемым настройкой силы натяжения тросов согласно [4] и подстройкой частоты вращения вибровозбудителя для получения заданной амплитуды колебаний.

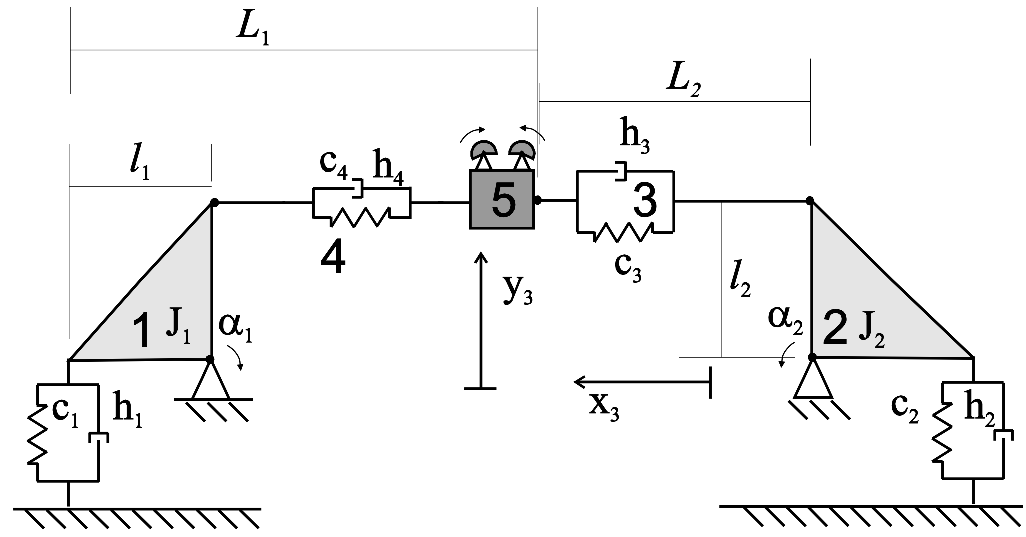



Рис. 3. Структурная схема упрощённой модели системы циклических испытаний лопасти вертолёта

Воспользуемся формализмом Лагранжа 2-го рода [5] для получения уравнений динамики. Кинетическая энергия $T$, потенциальная энергия $P$, диссипативная функция $R$ и обобщённая сила $Q_{y_3}$, действующая на систему, имеют следующий вид:

$$\begin{cases} T = \frac{1}{2}\left[ J_1\dot{\alpha}_1^2 + J_2\dot{\alpha}_1^2 + M_3\left(\dot{x}_3 + \dot{y}_3\right)^2 \right]; \\ P = \frac{1}{2}\left[ c_1\left(\alpha_1 l_1\right)^2 + c_2\left(\alpha_2 l_1\right)^2 + c_3\left(\sqrt{\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2} - L_2 - \alpha_2 l_2\right)^2 + c_4\left(\sqrt{\left(L_1 - x_3\right)^2 + y_3^2} - L_1 - \alpha_1 l_2\right)^2 \right]; \\ R = \frac{1}{2}\left[ h_1\left(\dot{\alpha}_1 l_1\right)^2 + h_2\left(\dot{\alpha}_2 l_1\right)^2 + h_3\left(\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2} - \dot{\alpha}_2 l_2\right)^2 + h_4\left(\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2} - \alpha_1 l_2\right)^2 \right]; \\ Q_{y_3} = F(\omega)\sin(\omega t). \end{cases} \quad (1)$$

Амплитуда возбуждающей силы зависит от частоты вращения эксцентриков следующим образом [6]:

$$F(\omega) = m\omega^2 r. \quad (2)$$

Вычисляя частные производные по координатам и импульсам [7] и подставляя их в уравнение Лагранжа, получаем систему уравнений динамики моделируемой системы:

$$\begin{cases} J_1\ddot{\alpha}_1 + h_1\dot{\alpha}_1 l_1^2 - h_4\left(\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2} - \dot{\alpha}_1 l_2\right) l_2 + c_1\alpha_1 l_1^2 - c_4\left(\sqrt{\left(L_1 - x_3\right)^2 + y_3^2} - L_1 - \alpha_1 l_2\right) l_2 = 0; \\ J_2\ddot{\alpha}_2 + h_2\dot{\alpha}_2 l_1^2 - h_3\left(\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2} - \dot{\alpha}_2 l_2\right) l_2 + c_2\alpha_2 l_1^2 - c_3\left(\sqrt{\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2} - L_2 - \alpha_2 l_2\right) l_2 = 0; \\ M_3\ddot{x}_3 + h_3\dot{x}_3\left(1 - \frac{\dot{\alpha}_2 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}}\right) + h_4\dot{x}_3\left(1 - \frac{\dot{\alpha}_1 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}}\right) + c_3\left(x_3 + L_2\right)\left(1 - \frac{L_2 + \alpha_2 l_2}{\sqrt{\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2}}\right) + \\ \quad + c_4\left(x_3 - L_1\right)\left(1 - \frac{L_1 + \alpha_1 l_2}{\sqrt{\left(L_1 - x_3\right)^2 + y_3^2}}\right) = 0; \\ M_3\ddot{y}_3 + h_3\dot{y}_3\left(1 - \frac{\dot{\alpha}_2 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}}\right) + h_4\dot{y}_3\left(1 - \frac{\dot{\alpha}_1 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}}\right) + c_3 y_3\left(1 - \frac{L_2 + \alpha_2 l_2}{\sqrt{\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2}}\right) + \\ \quad + c_4 y_3\left(1 - \frac{L_1 + \alpha_1 l_2}{\sqrt{\left(L_1 - x_3\right)^2 + y_3^2}}\right) = m\omega^2 r\sin\omega t. \end{cases} \quad (3)$$

Полученная модель содержит нелинейные составляющие и может быть линеаризована [8] в окрестности нулевых значений $x_3$, $y_2$, $\alpha_1$ и $\alpha_2$. Элементы матрицы частных производных $A = \left(\partial f_i / \partial x_j\right)$ имеют вид (для простоты вычислений не учтён множитель −1):

$$\frac{\partial f_1}{\partial \alpha_1} = c_1 l_1^2 + c_4 l_2^2; \qquad \frac{\partial f_1}{\partial \alpha_2} = 0; \qquad \frac{\partial f_1}{\partial \dot{\alpha}_1} = h_1 l_1^2 + h_4 l_2^2; \qquad \frac{\partial f_1}{\partial \dot{\alpha}_2} = 0;$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_3} = -1/2\frac{c_4\left(-2L_1 + 2x_3\right) l_2}{\sqrt{L_1^2 - 2L_1 x_3 + x_3^2 + y_3^2}}; \quad \frac{\partial f_1}{\partial y_3} = -\frac{c_4 y_3 l_2}{\sqrt{L_1^2 - 2L_1 x_3 + x_3^2 + y_3^2}}; \quad \frac{\partial f_1}{\partial \dot{x}_3} = -\frac{h_4\dot{x}_3 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}}; \quad \frac{\partial f_1}{\partial \dot{y}_3} = -\frac{h_4\dot{y}_3 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}};$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial \alpha_1} = 0; \qquad \frac{\partial f_2}{\partial \alpha_2} = c_2 l_1^2 + c_3 l_2^2; \qquad \frac{\partial f_2}{\partial \dot{\alpha}_1} = 0; \qquad \frac{\partial f_2}{\partial \dot{\alpha}_2} = h_2 l_1^2 + h_3 l_2^2;$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial x_3} = -\frac{c_3\left(-L_2 + x_3\right)l_2}{\sqrt{\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2}};\ \frac{\partial f_2}{\partial y_3} = -\frac{c_3 y_3 l_2}{\sqrt{\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2}};\ \frac{\partial f_2}{\partial \dot{x}_3} = -\frac{h_3 \dot{x}_3 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}};\ \frac{\partial f_2}{\partial \dot{y}_3} = -\frac{h_3 \dot{y}_3 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}};$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial \alpha_1} = -\frac{c_4\left(x_3 - L_1\right)l_2}{\sqrt{L_1^2 - 2L_1 x_3 + x_3^2 + y_3^2}};\ \frac{\partial f_3}{\partial \alpha_2} = -\frac{c_3\left(L_2 + x_3\right)l_2}{\sqrt{\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2}};\ \frac{\partial f_3}{\partial \dot{\alpha}_1} = -\frac{h_4 \dot{x}_3 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}};\ \frac{\partial f_3}{\partial \dot{\alpha}_2} = -\frac{h_3 \dot{x}_3 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}};$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial x_3} = c_3\left(1 - \frac{L_2 + \alpha_2 l_2}{\sqrt{\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2}}\right) + \frac{c_3\left(L_2 + x_3\right)^2\left(L_2 + \alpha_2 l_2\right)}{\left(\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2\right)^{3/2}} + c_4\left(1 - \frac{L_1 + \alpha_1 l_2}{\sqrt{\left(L_1 + x_3\right)^2 + y_3^2}}\right) +$$

$$+\frac{c_3\left(L_1 + x_3\right)^2\left(L_1 + \alpha_1 l_2\right)}{\left(\left(L_1 + x_3\right)^2 + y_3^2\right)^{3/2}};$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial y_3} = \frac{c_3\left(L_2 + x_3\right)\left(L_2 + \alpha_2 l_2\right)y_3}{\left(\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2\right)^{3/2}} + \frac{c_4\left(L_1 + x_3\right)\left(L_1 + \alpha_1 l_2\right)y_3}{\left(\left(L_1 + x_3\right)^2 + y_3^2\right)^{3/2}};$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial \dot{x}_3} = h_3\left(1 - \frac{\dot{\alpha}_2 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}}\right) + \frac{h_3 \dot{x}_3^2 \dot{\alpha}_2 l_2}{\left(\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2\right)^{3/2}} + h_4\left(1 - \frac{\dot{\alpha}_1 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}}\right) + \frac{h_4 \dot{x}_3^2 \dot{\alpha}_1 l_2}{\left(\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2\right)^{3/2}};$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial \dot{y}_3} = \frac{h_3 \dot{x}_3^2 \dot{\alpha}_2 l_2 \dot{y}_3}{\left(\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2\right)^{3/2}} + \frac{h_4 \dot{x}_3^2 \dot{\alpha}_1 l_2 \dot{y}_3}{\left(\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2\right)^{3/2}};$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial \dot{\alpha}_1} = -\frac{c_4 y_3 l_2}{\sqrt{L_1^2 - 2L_1 x_3 + x_3^2 + y_3^2}};\quad \frac{\partial f_4}{\partial \alpha_2} = -\frac{c_3 y_3 l_2}{\sqrt{\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2}};\quad \frac{\partial f_4}{\partial \dot{\alpha}_1} = -\frac{h_4 \dot{y}_3 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}};\quad \frac{\partial f_4}{\partial \dot{\alpha}_2} = -\frac{h_3 \dot{y}_3 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}};$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial x_3} = \frac{c_3 y_3\left(L_2 + \alpha_2 l_2\right)\left(L_2 + x_3\right)}{\left(\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2\right)^{3/2}} + \frac{c_3 y_3\left(L_1 + \alpha_1 l_2\right)\left(L_1 - x_3\right)}{\left(\left(L_1 + x_3\right)^2 + y_3^2\right)^{3/2}};$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial y_3} = c_3\left(1 - \frac{L_2 + \alpha_2 l_2}{\sqrt{\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2}}\right) + \frac{c_3 y_3\left(L_2 + \alpha_2 l_2\right)}{\left(\left(L_2 + x_3\right)^2 + y_3^2\right)^{3/2}} + c_4\left(1 - \frac{L_1 + \alpha_1 l_2}{\sqrt{\left(L_1 - x_3\right)^2 + y_3^2}}\right) + \frac{c_3 y_3\left(L_1 + \alpha_1 l_2\right)}{\left(\left(L_1 - x_3\right)^2 + y_3^2\right)^{3/2}};$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial \dot{x}_3} = \frac{h_3 \dot{x}_3^2 \dot{\alpha}_2 l_2 \dot{y}_3}{\left(\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2\right)^{3/2}} + \frac{h_4 \dot{x}_3^2 \dot{\alpha}_1 l_2 \dot{y}_3}{\left(\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2\right)^{3/2}};$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial \dot{y}_3} = h_3\left(1 - \frac{\dot{\alpha}_2 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}}\right) + \frac{h_3 \dot{y}_3^2 \dot{\alpha}_2 l_2}{\left(\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2\right)^{3/2}} + h_4\left(1 - \frac{\dot{\alpha}_1 l_2}{\sqrt{\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2}}\right) + \frac{h_4 \dot{y}_3^2 \dot{\alpha}_1 l_2}{\left(\dot{x}_3^2 + \dot{y}_3^2\right)^{3/2}}.$$

После подстановки значений координат в точке равновесия $X^*$

$$X^* = \left\{\alpha_1^* \ \ \alpha_2^* \ \ \dot{\alpha}_1^* \ \ \dot{\alpha}_2^* \ \ x_3^* \ \ y_3^* \ \ \dot{x}_3^* \ \ \dot{y}_3^*\right\} = \left\{0 \ \ 0 \ \ 0 \ \ 0 \ \ 0 \ \ 0 \ \ 0 \ \ 0\right\}^T \qquad (4)$$

получаем матрицу частных производных, соответствующую собственной матрице линеаризованной системы в явном виде:

$$\frac{\partial f}{\partial x}=\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0\\ -\frac{c_1 l_1^2+c_4 l_2^2}{J_1} & 0 & -\frac{h_1 l_1^2+h_4 l_2^2}{J_1} & 0 & -\frac{c_4 l_2}{J_1} & 0 & \frac{h_4 l_2}{J_1} & \frac{h_4 l_2}{J_1}\\ 0 & -\frac{c_2 l_1^2+c_3 l_2^2}{J_2} & 0 & -\frac{h_2 l_1^2+h_3 l_2^2}{J_2} & \frac{c_3 l_2}{J_2} & 0 & \frac{h_3 l_2}{J_2} & \frac{h_3 l_2}{J_2}\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1\\ -\frac{c_4 l_1}{M_3} & \frac{c_3 l_1}{M_3} & \frac{h_4 l_2}{M_3} & \frac{h_3 l_2}{M_3} & -\frac{c_3+c_4}{M_3} & 0 & \frac{h_3+h_4}{m_3} & 0\\ 0 & 0 & \frac{h_4 l_2}{M_3} & \frac{h_3 l_2}{M_3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{h_3+h_4}{M_3} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

и система уравнений динамики может быть записана в виде:

$$\begin{cases} \dot{X} = AX + Bu; \\ Y = CX. \end{cases} \quad (6)$$

Экспериментальные измерения, проведённые на участке динамических испытаний, показали, что амплитуды вибраций во всех частотных диапазонах на опорах стенда динамических испытаний на 15…20 дБ меньше амплитуд колебаний на конце лонжерона, закреплённого на вибровозбудителе. То есть амплитуды колебаний опор на несколько порядков меньше амплитуды колебаний вибровозбудителя. Исходя из этого, можно осуществить дальнейшее упрощение модели (3) стенда динамических испытаний, рассматривая его с точки зрения анализа формы возникающих колебаний как упругую подсистему, прикреплённую к неподвижным опорам (рис. 4, *а*), а с точки зрения передачи вибрации через опоры — как упругие подсистемы опор, на которые действует внешняя сила, характеристики которой определяются из предыдущей подсистемы (рис. 4, *б*).

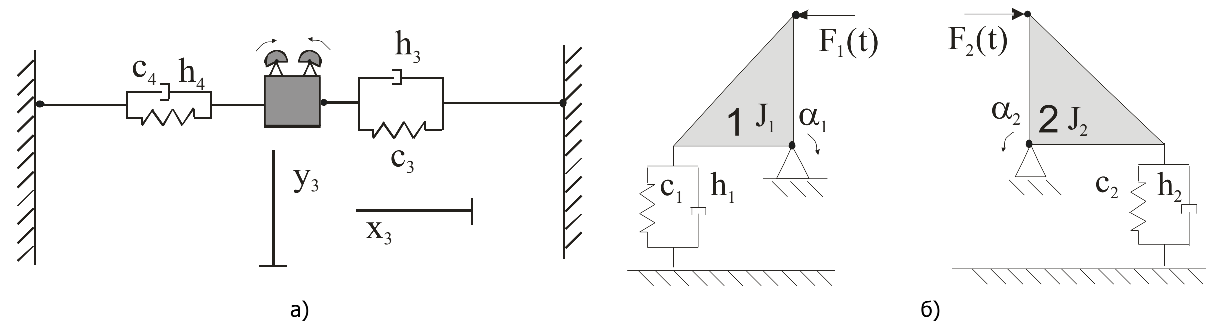



Рис. 4. Декомпозиция динамической модели рис. 3 на подсистемы: а — вибровозбудителя; б — опор

*Таблица 1*

**Режимы динамических испытаний лонжеронов**

| Испытываемый участок | Статическая нагрузка | Переменная нагрузка $\sigma_{исп}$, МПа | | | | Частота колебаний образца, Гц | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Средний участок с двумя секциями каркаса и в плоскости тяги | $\sigma_p = 88{,}2$ МПа ($Q$ = 1176 Н) | 54 | 68,6 | 88 | | 41 | 42 | 42 | |
| Концевой участок с двумя секциями каркаса в плоскости тяги | $\sigma_p = 58{,}8$ МПа ($Q$ = 1176 Н) | 35 | 54 | 68,6 | 88 | 38 | 38 | 40 | 42 |
| Концевой участок с двумя секциями каркаса в плоскости тяги | $\sigma_p = 58{,}8$ МПа | 54 | 68,6 | 88 | | 38 | 40 | 42 | |

Соответствующие системы уравнений, описывающие динамические свойства полученных подсистем, представлены ниже. Для подсистемы вибровозбудителя:

$$\begin{cases} M_3\ddot{x}_3 + (c_3 + c_4)x_3 + (h_3 + h_4)\dot{x}_3 + \varepsilon_1 y_3 = 0; \\ M_3\ddot{y}_3 + (h_3 + h_4)\dot{y}_3 = m\omega^2 r \sin\omega t. \end{cases} \quad (7)$$

Для подсистем опор:

$$J_1\ddot{\alpha}_1 + h_1 l_1^2 \dot{\alpha}_1 + c_1 l_1^2 \alpha_1 = l_2 F_1(t). \quad (8)$$

$$J_2\ddot{\alpha}_2 + h_2 l_1^2 \dot{\alpha}_2 + c_2 l_1^2 \alpha_2 = l_2 F_2(t). \quad (9)$$

Соответственно силы $F_1(t)$ и $F_2(t)$ получаются в линейном приближении из стационарных решений системы уравнений (7) по формулам:

$$\begin{cases} F_1(t) = c_4 x_3(t) + h_4\dot{x}_3(t); \\ F_2(t) = c_3 x_3(t) + h_3\dot{x}_3(t). \end{cases} \quad (10)$$

Численный расчёт удобно проводить, представив уравнения (7) — (9) в форме Коши:

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2; \\ \dot{z}_2 = \left(-(c_3 + c_4)z_1 - (h_3 + h_4)z_2 + \varepsilon_1 z_3\right)/M_3; \\ \dot{z}_3 = z_4; \\ \dot{z}_4 = \left(-(h_3 + h_4)z_4 + m\omega^2 r \sin\omega t\right)/M_3, \end{cases} \quad (11)$$

где $z_1 = x_3$, $z_2 = \dot{x}_3$, $z_3 = y_3$, $z_4 = \dot{y}_3$;

$$\begin{cases} \dot{z}_5 = z_6; \\ \dot{z}_6 = \left(-h_1 l_1^2 z_6 - c_1 l_1^2 z_5 + l_2 F_1(t)\right) / J_1; \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} \dot{z}_7 = z_8; \\ \dot{z}_8 = \left(-h_2 l_1^2 z_8 - c_2 l_1^2 z_7 + l_2 F_2(t)\right)/J_2, \end{cases} \quad (13)$$

где $z_5 = \alpha_1$, $z_6 = \dot{\alpha}_1$, $z_7 = \alpha_2$, $z_8 = \dot{\alpha}_2$.

*Таблица 2*

**Параметры модели стенда динамических испытаний**

| Обозначение | Значение | Размерность | Пояснения |
|---|---|---|---|
| $c_1$ | $5\cdot10^6$ | Н/м | Жёсткость опоры со стороны лонжерона |
| $c_2$ | $10^7$ | Н/м | Жёсткость конструкции со стороны тросов натяжения |
| $c_3$ | $2{,}2\cdot10^4$ | Н/м | Приведённая жёсткость системы тросов натяжения |
| $c_4$ | $3{,}5\cdot10^5$ | Н/м | Приведённая жёсткость лонжерона |
| $h_1$ | 1000 | Н·с/м | Диссипация в опоре со стороны лонжерона |
| $h_2$ | 1000 | Н·с/м | Диссипация в опоре со стороны тросов натяжения |
| $h_3$ | 10 | Н·с/м | Приведённая диссипация в системе тросов натяжения |
| $h_4$ | 10 | Н·с/м | Приведённая диссипация в лонжероне |
| $l_1$ | 0,5 | м | Длина образующей опоры |
| $l_2$ | 0,4 | м | Высота образующей опоры |
| $L_1$ | 2 | м | Длина лонжерона |
| $L_2$ | 1,5 | м | Длина системы тросов |
| $J_1$ | 1 | Н·м$^2$ | Момент инерции опоры со стороны лонжерона |
| $J_2$ | 1 | Н·м$^2$ | Момент инерции опоры со стороны тросов натяжения |
| $M_3$ | 10 | кг | Масса подсистемы возбудителя |
| $m$ | 0,4 | кг | Масса груза вибровозбудителя |
| $r$ | 0,05 | м | Радиус эксцентриситета груза вибровозбудителя |

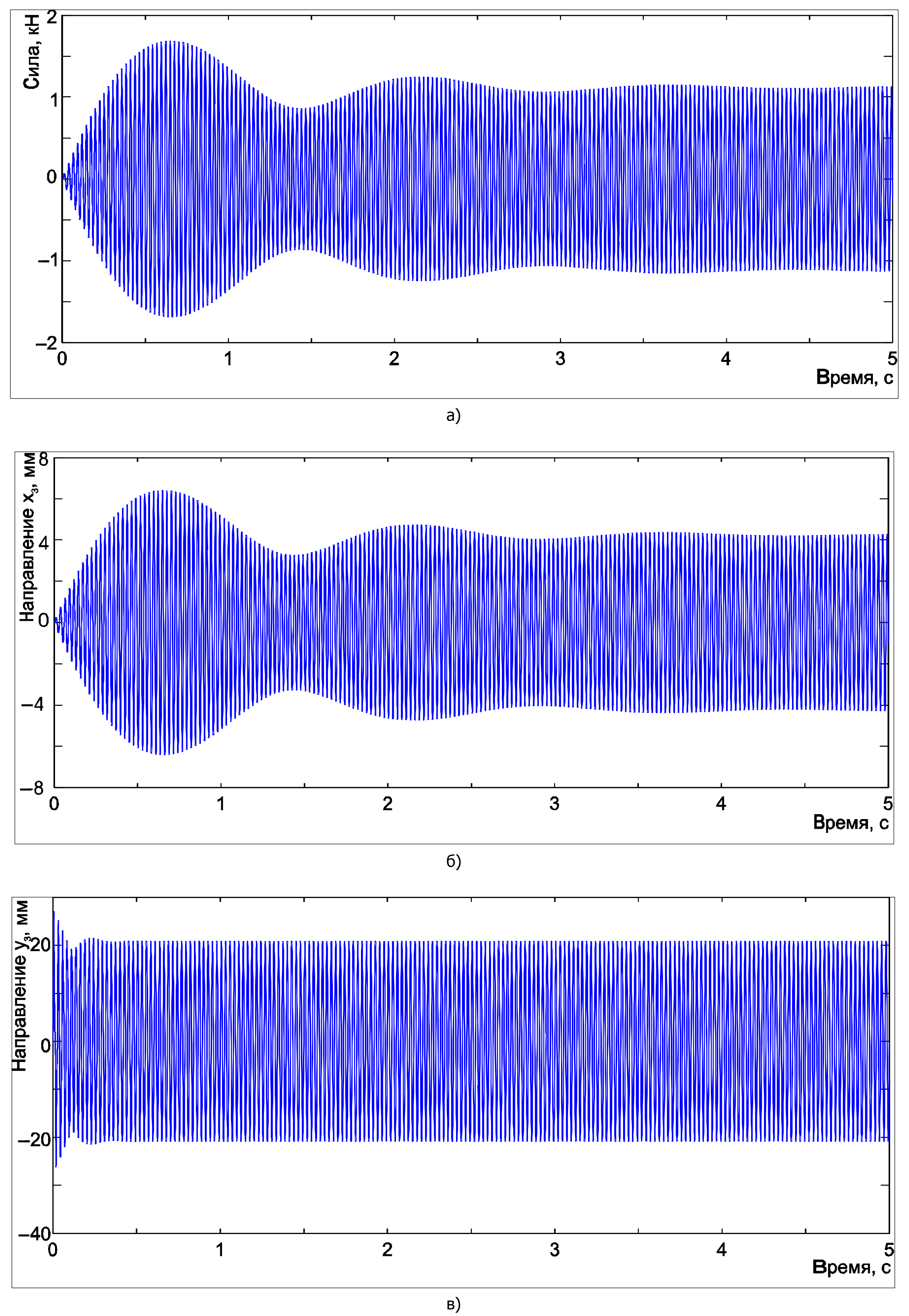



Рис. 5. Результаты моделирования работы стенда динамических испытаний лонжеронов лопастей вертолётов: а — смещение в горизонтальном направлении; б — смещение в вертикальном направлении; в — переменная составляющая растягивающей силы, действующей на лонжерон

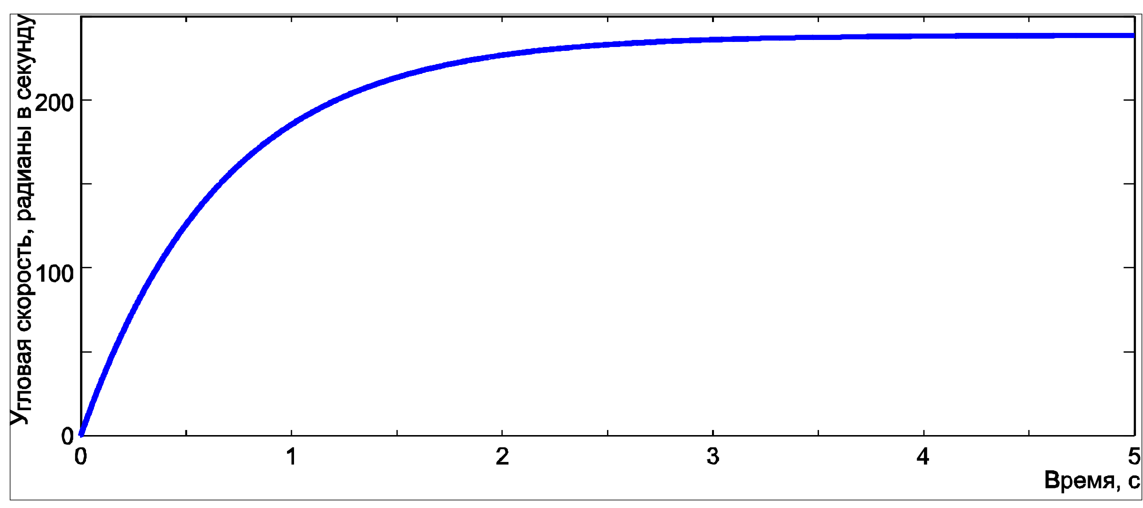



Рис. 6. Зависимость частоты вращения вибровозбудителя от времени при плавном увеличении частоты вращения

Таким образом, определение коэффициента передачи вибрации через опоры стенда динамических испытаний производится в два этапа: на первом этапе определяется установившееся решение системы $x(t)$ $\dot{x}(t)$ (7), а на втором этапе полученные установившиеся решения подставляются в выражение для внешних сил уравнений (8) и (9), для которых в свою очередь так же находятся установившиеся решения $\alpha_1(t)$, $\dot{\alpha}_1(t)$, $\alpha_2(t)$, $\dot{\alpha}_2(t)$.

**Моделирование динамики стенда циклических испытаний лонжерона лопасти вертолёта.** В соответствии с программой испытаний лопасти несущего винта определены условия и режимы испытания лонжеронов лопастей несущего винта вертолётов. Для рассматриваемого в данной работе стенда динамических испытаний, на котором испытываются средние и концевые участки лонжерона, определены следующие условия испытаний (табл. 1).

Результаты предварительных измерений и анализа конструкции стенда динамических испытаний позволили оценить значения постоянных $c_i$ модели стенда. Они приведены в табл. 2.

Результаты моделирования, выполненные на основе [9], приведены на рис. 5. Как показало моделирование, при быстром выводе оборотов двигателя вибровозбудителя в зону резонанса возможны колебания амплитуды упругих сил, действующих на лонжерон, что может привести к его повреждению. По этой причине при запуске стенда динамических испытаний применяется плавный выход в зону резонанса, с относительно медленным повышением частоты вращения вибровозбудителя (рис. 6).

Зависимость возбуждающей силы в этом случае может быть описана формулой

$$F(t,\omega) = m\left(\omega\left(1-e^{t/T}\right)\right)^2 r \sin\left(\omega\left(1-e^{t/T}\right)t\right), \tag{14}$$

учитывающей постепенное возрастание как частоты, так и амплитуды колебаний возбуждающей силы. Зависимость возбуждающей силы от времени приведена на рис. 7, *а*, а соответствующие графики изменения координат состояния моделируемой системы — на рис. 7, *б*, *в*.

**Заключение.** Приведённые в работе результаты математического моделирования позволяют сделать вывод о работоспособности разработанных моделей стенда динамических испытаний лонжеронов лопастей вертолётов и их применимости для расчёта характеристик источников шума и вибрации. Результаты моделирования показали соответствие экспериментальным измерениям как по качественному поведению системы, так и по количественным показателям — амплитудам колебаний и величинам сил.

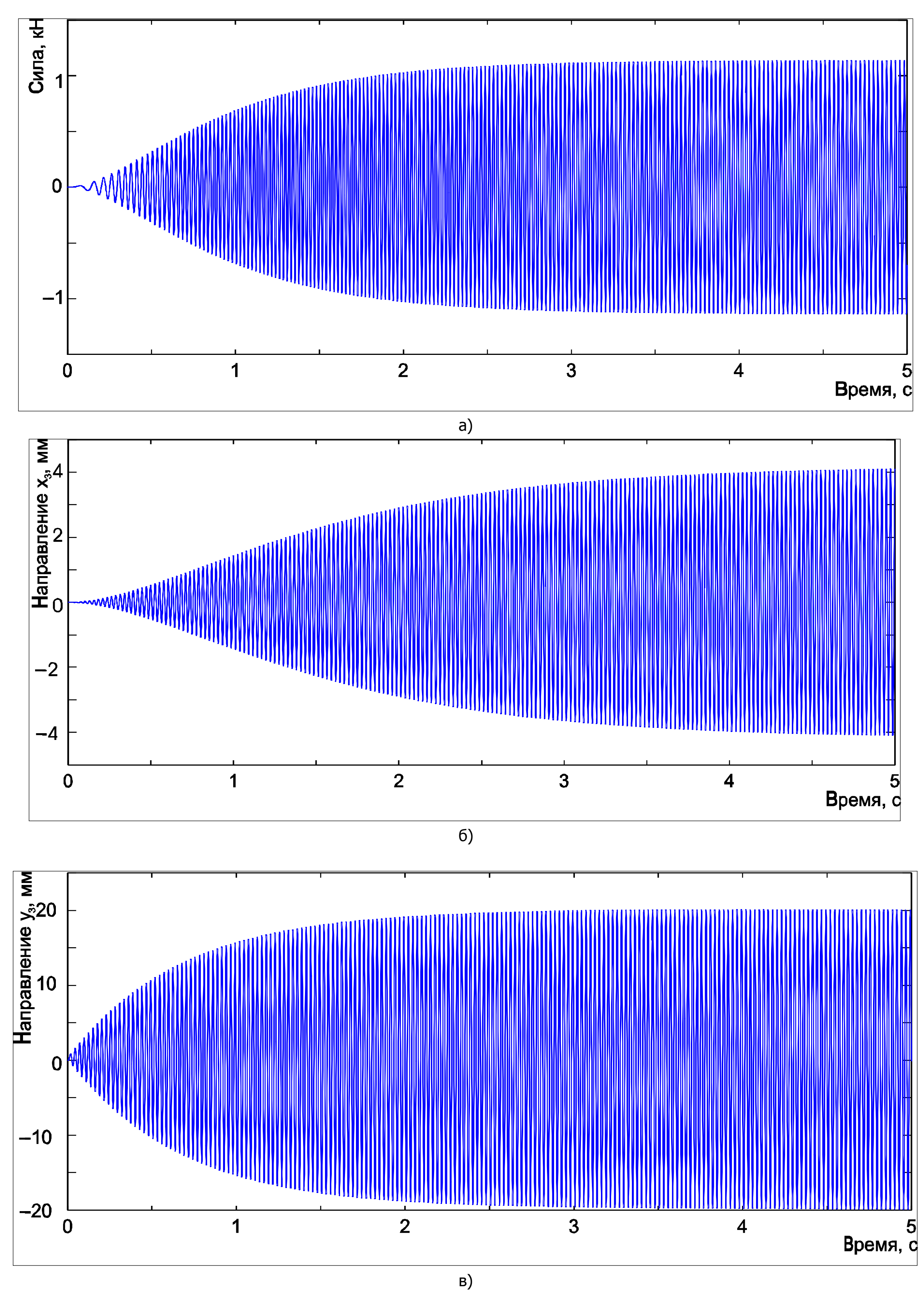



Рис. 7. Результаты моделирования работы стенда динамических испытаний лонжеронов лопастей вертолётов при плавном увеличении частоты вращения: а — смещение в горизонтальном направлении; б — смещение в вертикальном направлении; в — переменная составляющая растягивающей силы, действующей на лонжерон

**Библиографический список**

1. СН 2.2.4/2.1.8562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. — Москва, 1996.
2. ГОСТ ССБТ 12.1.043-90. Вибрация. Методы измерений на рабочих местах в производственных помещениях. — Москва: Издательство стандартов, 2001.
3. Рабинович, М. И. Введение в теорию колебаний и волн / М. И. Рабинович, Д. И. Трубецков. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. — 560 с.
4. Программа испытаний лопасти несущего винта. — Москва: МВЗ им. Миля, 2002. — 25 с.
5. Лич, Дж. К. Классическая механика / Дж. К. Лич. — Москва: Изд-во иностранной литературы, 1961. — 173 с.
6. Яворский, Б. М. Справочник по физике / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. — Москва: Наука, 1973. — 942 с.
7. Тер-Крикоров, А. М. Курс математического анализа: уч. пособие для вузов / А. М. Тер-Крикоров, М. И. Шабунин. — Москва: Наука, 1988. — 816 с.
8. Арнольд, В. А. Математические методы классической механики / В. А. Арнольд. — Москва: Наука, 1974. — 432 с.
9. Потёмкин, В. Г. Инструментальные средства MATLAB 5.x / В. Г. Потёмкин. — Москва: Диалог-МИФИ, 2000. — 336 с.

Материал поступил в редакцию 01.12.2011.

**References**

1. SN 2.2.4/2.1.8562-96. Shum na rabochix mestax, v pomeshheniyax zhily`x, obshhestvenny`x zdanij i na territorii zhiloj zastrojki. — Moskva, 1996. — In Russian.
2. GOST SSBT 12.1.043-90. Vibraciya. Metody` izmerenij na rabochix mestax v proizvodstvenny`x pomeshheniyax. — Moskva: Izdatel`stvo standartov, 2001. — In Russian.
3. Rabinovich, M. I. Vvedenie v teoriyu kolebanij i voln / M. I. Rabinovich, D. I. Trubeczkov. — Izhevsk: NICz «Regulyarnaya i xaoticheskaya dinamika», 2000. — 560 s. — In Russian.
4. Programma ispy`tanij lopasti nesushhego vinta. — Moskva: MVZ im. Milya, 2002. — 25 s. — In Russian.
5. Lich, Dzh. K. Klassicheskaya mexanika / Dzh. K. Lich. — Moskva: Izd-vo inostrannoj literatury`, 1961. — 173 s. — In Russian.
6. Yavorskij, B. M. Spravochnik po fizike / B. M. Yavorskij, A. A. Detlaf. — Moskva: Nauka, 1973. — 942 s. — In Russian.
7. Ter-Krikorov, A. M. Kurs matematicheskogo analiza: uch. posobie dlya vuzov / A. M. Ter-Krikorov, M. I. Shabunin. — Moskva: Nauka, 1988. — 816 s. — In Russian.
8. Arnol`d, V. A. Matematicheskie metody` klassicheskoj mexaniki / V. A. Arnol`d. — Moskva: Nauka, 1974. — 432 s. — In Russian.
9. Potyomkin, V. G. Instrumental`ny`e sredstva MATLAB 5.x / V. G. Potyomkin. — Moskva: Dialog-MIFI, 2000. — 336 s. — In Russian.

## THEORETICAL STUDY ON VIBROACOUSTICS UNDER DYNAMIC TEST FOR CYCLICAL STRENGTH

**S. A. Shamshura, I. V. Boguslavskiy, A. N. Chukarin**
(Don State Technical University)

*The theoretical study on the excitation of the equipment vibrations and noise emission under the dynamic testing of helicopter longerons is resulted. The dependences for determining vibration spectra in the operating space are obtained.*
***Keywords:*** *vibroacoustics, dynamic test.*

УДК 621.856.8

# Функциональные технологические смазочные материалы, структурированные нанопорошками цветных металлов, для повышения эффективности обработки деталей транспортных средств

**Г. И. Шульга**
(Южно-Российский государственный технический университет),
**А. О. Колесниченко**
(ООО «Производственная компания „Новочеркасский электровозостроительный завод"»),
**Е. В. Скринников**
(Южно-Российский государственный технический университет),
**Т. Г. Шульга**
(Ростовский государственный университет путей сообщения)

*Встраивание во фрактальные кластеры функциональных водорастворимых технологических смазочных материалов (ФВТСМ) нанопорошка цинка улучшают их смазочные свойства и повышают эффективность штамповки и вытяжки листовых сталей при изготовлении кузовных деталей транспортных средств.*
***Ключевые слова:*** *функциональный смазочный материал, фрактальный кластер, нанопорошок, наноструктурирование, синергетика, наноплёнка, штамповка, вытяжка.*

**Введение.** Тенденциями развития современного транспортного комплекса в области механической обработки является создание наноструктурированных функциональных (адаптирующихся) водорастворимых технологических смазочных материалов (ФВТСМ). Разработка таких материалов стала возможной вследствие развития нанотрибологии, наноидентифицирования, наноинженерии поверхности, синергетики, изучающей процессы устойчивости и распада диссипативных структур различной природы, формирования новой парадигмы управления смазочными свойствами технологических материалов наноструктурированием их фрактальной структуры [1—6].

Создание наноструктурированных ФВТСМ для механической обработки основывается на идеях фрактального материаловедения, базирующегося на принципах синергетики и теории фрактальной геометрии. Свойства функциональных смазочных материалов связывают с динамической структурой, самоорганизующейся в точках бифуркаций. Динамика трансформации структуры, потерявшей устойчивость, контролируется принципами синергетики, основным из которых является минимум производства энтропии. Система в состоянии неравновесности способна к выбору оптимальной структуры, необходимой для дальнейшего функционирования системы как целого [1].

Концепция разработки ФВТСМ основывается на следующих положениях: создание наноструктурированных фрактальных структур материалов с высоким уровнем неравновесности, формирование в трибосопряжениях фрактальных, гетерогенных, ламеллярных структур, обеспечивающих самоорганизацию и физико-химическое модифицирование контактирующих поверхностей трибосопряжений, а при попадании в окружающую среду (почвы, воду) встраивание компонентов ФВТСМ в пищевые цепи экосистем [2].

ФВТСМ рассматривается не как вещество с заданным химическим составом, а как интегральное понятие, объединяющее в себе вещество, технологию его изготовления, применение для повышения долговечности оборудования и инструмента, встраивание в пищевые цепи экосистем, утилизацию и возможность вторичного использования.

ФВТСМ могут эффективно использоваться в качестве концентратов и водных растворов для повышения долговечности штампового инструмента, улучшения качества обрабатываемых по-

верхностей кузовных деталей, получаемых листовой штамповкой, вытяжкой, а также при лезвийной, алмазно-абразивной обработке изделий из различных материалов транспортных систем.

Дисперсные порошки цветных металлов и их сплавов, в частности, меди, бронзы, цинка используют в качестве добавок к смазочным материалам для улучшения их триботехнических свойств.

Существенным недостатком нанопорошков таких металлов является их агрегатирование, сложности стабилизации и равномерного распределения в объёме смазочного материала. Наноструктурирование фрактальных кластеров ФВТСМ нанопорошками меди и бронзы и исследование их смазочного действия приведено в работе [3].

Целью работы является исследование влияния на триботехнические свойства наноструктурирования нанопорошками цветных металлов фрактальных кластеров функциональных технологических смазочных материалов.

**Материалы и методики исследования.** Электронно-микроскопические исследования структуры и поэлементного состава нанопорошков меди, бронзы, цинка проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Quanta 200 (FEI Compani, Holland), ускоряющем напряжении 5…30 кВ, увеличении от 25 до 150 000. Рентгеновский анализ нанопорошков металлов проводили с использованием приставки энергодисперсионного анализа Genesis (EDAX Inc., USA) [4] в центре коллективного пользования ЮРГТУ (НПИ).

Испытания функциональных технологических смазочных материалов проводили на торцевой машине трения при испытании пары сталь 40Х — 08ЮСВ2А, частоте вращения верхнего испытуемого образца 40 мин$^{-1}$, ступенчатом увеличении удельного давления $p$ от 0,05 до 1,0 МПа.

Время испытания на каждой ступени удельного давления составляло 6 мин. В качестве верхнего испытуемого образца использовали цилиндр из стали 40Х, наружным диаметром 24 мм, внутренним диаметром 16 мм и высотой 30 мм. Материал соответствовал штамповому инструменту. Нижний образец изготавливали из листовой стали 08ЮСВ2А диаметром 34 мм, толщиной 1 мм, он соответствовал материалу кузова легкового автомобиля. Контактирование пары трения осуществлялось по торцу цилиндрического образца и поверхности круглого образца. Определение износов пары трения трибосопряжений производили весовым методом на аналитических весах ВЛР-200 (ГОСТ 24104-80).

**Результаты исследований и их обсуждение.** На рис. 1 приведены структура нанопорошков цинка, меди, бронзы и их поэлементный состав. Из рис. 1 следует, что данные нанопорошки представляют собой дисперсии в виде нанокластеров. Поэлементный состав нанопорошка цинка — 94,04 % цинка и 5,96 % кислорода; нанопорошка меди — 97,24 % меди и 2,76 % кислорода; нанопорошка бронзы — 88,13 % меди, 9,27 % олова и 2,6 % кислорода.

Предполагали, что наноструктурированием фрактальных кластеров нанопорошком цинка можно улучшить смазочные, противоизносные, антифрикционные, антикоррозионные свойства ФВТСМ. Проведены лабораторные сравнительные испытания разработанного смазочного материала РВ-ЗУМ, содержащего фрактальные лигандные кластеры и РВ-18, со встроенными во фрактальные лигандные кластеры нанопорошками цинка в количестве 1 % и 2 % (по массе), используемого при листовой вытяжке кузовных деталей легковых автомобилей.

Смазочные свойства ФВТСМ РВ-ЗУМ, РВ-18 оценивали по величинам износа образцов, коэффициенту трения испытуемой пары при удельных давлениях 0,5; 1,0 МПа (кривые *1*, *2*, *3*). Результаты испытаний приведены на рис. 2—4.

На рис. 2 приведена зависимость износа образца $U_1$ из стали 40Х от удельного давления $p$ при смазывании 50-процентными водными растворами РВ-ЗУМ и РВ-18, содержащего 1 % и 2 % нанопорошков цинка, при трении пары сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А. При удельном давлении 0,5 МПа износы образца из стали 40Х составили, соответственно, $34 \cdot 10^{-5}$ г; $51 \cdot 10^{-5}$ г; $30 \cdot 10^{-5}$ г.

При удельном давлении 1,0 МПа износы образца из стали 40Х и смазывании этими же смазочными материалами составили, соответственно, $51 \cdot 10^{-5}$ г; $42 \cdot 10^{-5}$ г; $25 \cdot 10^{-5}$ г.

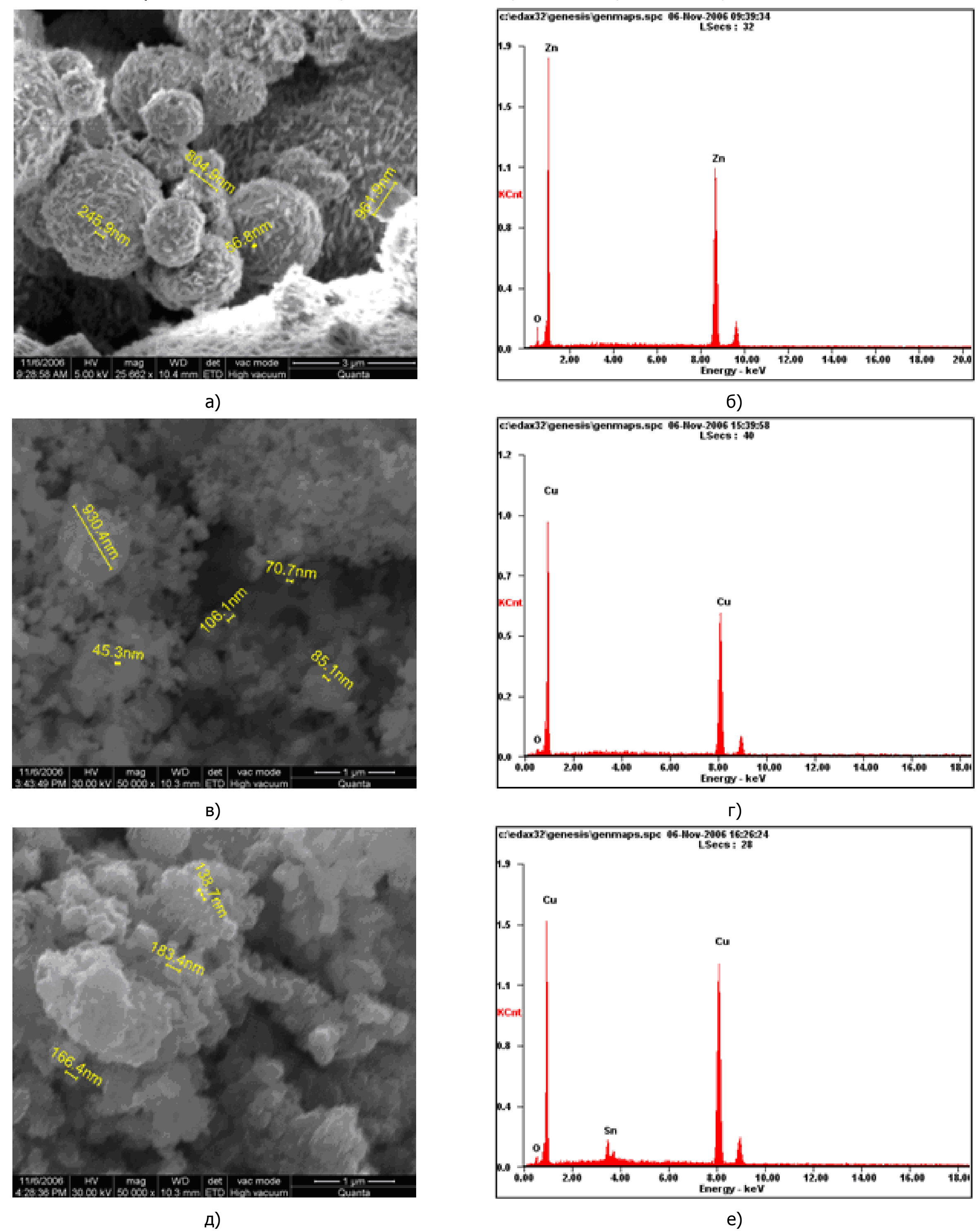



Рис. 1. Структура и поэлементный состав нанопорошков: а, б — цинка; в, г — меди; д, е — бронзы

На рис. 3 приведена зависимость износа образца $U_2$ из стали 08ЮОСВ2А от удельного давления $p$ при смазывании 50-процентными водными растворами РВ-3УМ и РВ-18, содержащего 1 % и 2 % нанопорошков цинка, при трении пары сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А.

При удельном давлении 0,5 МПа износы образца из стали 08ЮОСВ2А составили, соответственно, $160 \cdot 10^{-5}$ г; $40 \cdot 10^{-5}$ г; $30 \cdot 10^{-5}$ г. При удельном давлении 1,0 МПа износы образца из стали 08ЮОСВ2А при смазывании этими же смазочными материалами составили, соответственно, $220 \cdot 10^{-5}$ г; $60 \cdot 10^{-5}$ г; $50 \cdot 10^{-5}$ г.

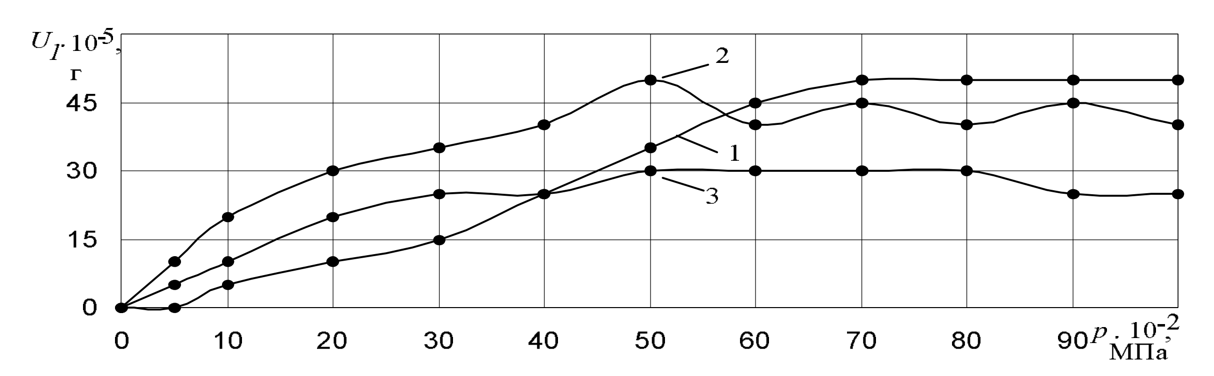



Рис. 2. Зависимость износа образца $U_1$ из стали 40Х от удельного давления *p* при смазывании пары трения сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А 50-процентными водными растворами смазочных материалов: 1 — РВ-3УМ; 2 — РВ-18 с 1 % нанопорошка цинка; 3 — РВ-18 с 2 % нанопорошка цинка

На рис. 4 приведены зависимости, соответствующие изменению коэффициента трения при увеличении удельного давления *p*. Из рис. 3 следует, что при удельном давлении *p*, равном 0,5 МПа, при смазывании 50-процентными водными растворами РВ-3УМ и РВ-18, содержащего 1 % и 2 % нанопорошков цинка, при трении пары сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А коэффициенты граничного трения μ, соответственно, составляли 0,182; 0,165; 0,152.

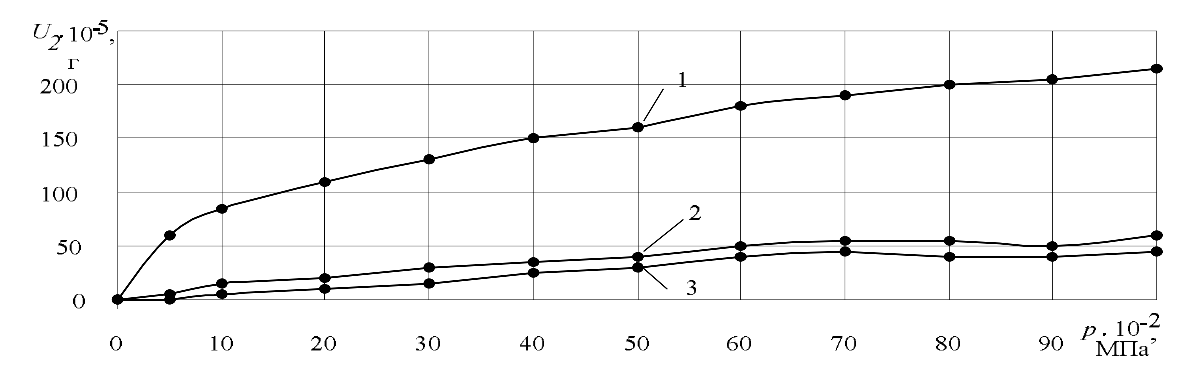



Рис. 3. Зависимость износа $U_2$ образца из стали 08ЮОСВ2А от удельного давления *p* при смазывании пары трения сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А 50-процентными водными растворами смазочных материалов: 1 — РВ-3УМ; 2 — РВ-18 с 1 % нанопорошка цинка; 3 — РВ-18 с 2 % нанопорошка цинка

При удельном давлении $p$ = 1,0 МПа, и смазывании 50-процентными водными растворами РВ-3УМ (кривая *1*) коэффициент граничного трения μ был равен 0,17; при смазывании РВ-18 с 1 % нанопорошка цинка (кривая *2*) μ = 0,16; РВ-18 с 2 % нанопорошка цинка (кривая *3*) μ = 0,14.

Антифрикционные свойства наноплёнок, образующихся при трении пары сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А при смазывании 50-процентными водными растворами смазочных материалов, исследовали на атомно-силовом микроскопе (АСМ) HV Solver методом боковых (латеральных) сил [3, 4]. На латеральные силы оказывает влияние не только трение, но и рельеф поверхности. На наклонных участках рельефа сила нормальной реакции образца имеет горизонтальную составляющую. Регистрируемые латеральные силы несут информацию о распределении силы трения и о рельефе поверхности. Чтобы отделить трибологический эффект от влияния топографии поверх-

ности, достаточно провести сканирование поверхности по одному и тому же месту в прямом и обратном направлении. Сила трения при этом меняет знак, а нормальная сила реакции образца остаётся прежней. Разность результатов первого и второго проходов даёт удвоенное значение силы трения. Для определения значения силы трения удвоенные значения делят пополам.

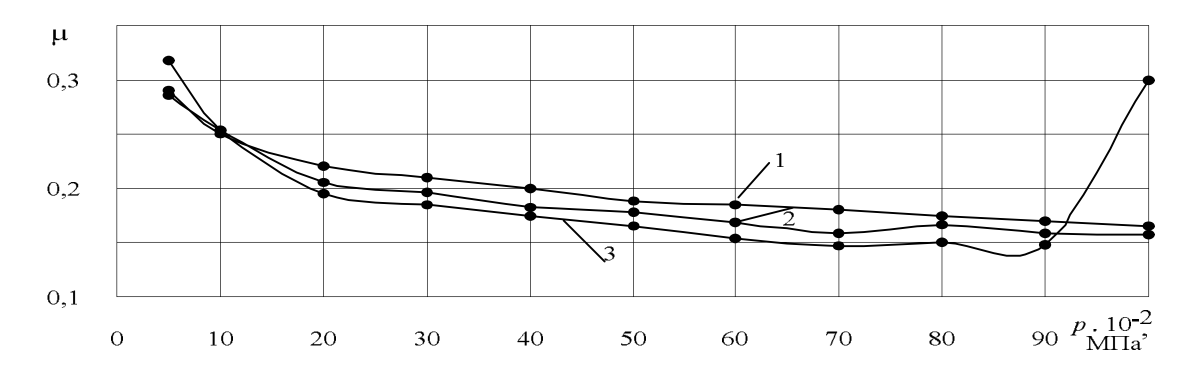



Рис. 4. Зависимость коэффициента трения μ от удельного давления *p* пары трения сталь 40Х — сталь 08ЮОСВ2А при смазывании 50-процентными водными растворами смазочных материалов: 1 — РВ-3УМ; 2 — РВ-18 с 1 % нанопорошка цинка; 3 — РВ-18 с 2 % нанопорошка цинка

На рис. 5 показаны исследования наноплёнки, генерируемой на поверхности образца из стали 08ЮОСВ2А при смазывании 50-процентным водным раствором смазочного материала РВ-18 с 2 % нанопорошка цинка при удельном давлении 1,6 МПа, методом латеральных сил.

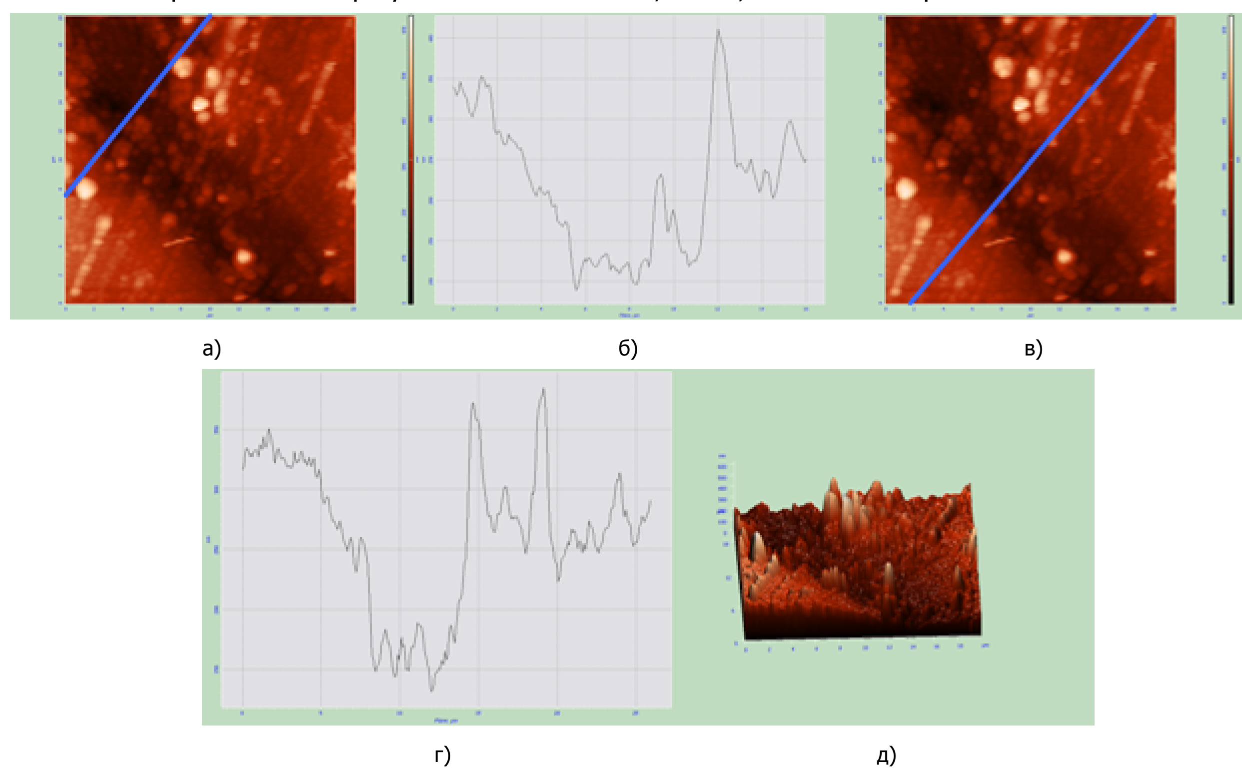



Рис. 5. Исследование наноплёнки, генерируемой на поверхности образца из стали 08ЮОСВ2А, методом латеральных сил: а, в — при сканировании поверхности плёнки; б, г — шероховатость поверхности плёнки по линии на поверхностях *а*, *в*; д — трёхмерная модель трущейся поверхности

Проведены исследования антикоррозионных свойств смазочного материала РВ-18 с 2 % нанопорошка цинка. Образцы из сталей 40Х и 08ЮОСВ2А окунали в 3-процентные водные рас-

творы РВ-18, затем выдерживали на воздухе в течение 10 суток. На стальных образцах следы коррозии не были обнаружены.

Проанализировано динамическое поведение микроорганизмов, закономерности варьирования биомассы, гибель микроорганизмов, фазы их роста при попадании смазочного материала РВ-18 в почву и воду [5]. Наблюдения за микроорганизмами в почве, водопроводной и природной воде позволили сделать вывод о биодеградации смазочного материала РВ-18, вызывающего «упругую» дегенерацию почвы и воды.

**Выводы.** Трибологические испытания при смазывании ФВТСМ пары трения 40Х — 08ЮОСВ2А показали, что при встраивании во фрактальный лигандный кластер смазочного материала РВ-18 2 % нанопорошка цинка происходило снижение износа образца из стали 08ЮОСВ2А с $220 \cdot 10^{-5}$ г до $50 \cdot 10^{-5}$ г, а образца из стали 40Х, соответственно, с $51 \cdot 10^{-5}$ г до $25 \cdot 10^{-5}$ г. Установлена возможность использования смазочного материала РВ-18 с встроенным во фрактальный лигандный кластер 2 % нанопорошка цинка при штамповке и вытяжке кузовных деталей из листовой стали 08ЮОСВ2А легковых автомобилей и других транспортных средств.

**Библиографический список**

1. Шульга, Г. И. Функциональные водорастворимые технологические смазочные средства для обработки материалов: монография / Г. И. Шульга; Изв. вузов. Северо-Кавказ. регион. — Ростов-на-Дону: [б. и.], 2004. — 212 с.

2. Шульга, Г. И. Влияние нанокластеров меди и бронзы на смазочные свойства водорастворимого смазочного материала РВ-18 / Г. И. Шульга, А. О. Колесниченко // Изв. вузов. Северо-Кавказ. регион. Проблемы трибоэлектрохимии. Техн. науки. — 2005. — Спец. вып. — С. 19—23.

3. Шульга, Г. И. Исследование смазочных свойств пластичного смазочного материала ПСМ-1, используемого в трибосопряжениях автомобилей / Г. И. Шульга, Е. В. Скринников // Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. г. Новочеркасск, 5 нояб. 2009 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2009. — С. 90—96.

4. Наноинженерия смазочных материалов для повышения эффективности механической обработки деталей, долговечности трибосопряжений узлов транспортных средств и систем / Г. И. Шульга [и др.] // Прогресс транспортных средств и систем — 2009: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Волгоград. гос. техн. ун-т; редкол.: М. В. Ляшенко [и др.]. — Ч. 2. — Волгоград, 2009. — С. 212—213.

5. Шульга, Г. И. Экологические проблемы разработки, применения и утилизации водорастворимых технологических смазочных средств / Г. И. Шульга, Т. Г. Шульга // Изв. вузов. Северо-Кавказ. регион. Проблемы электрохимии и экологии. Естественные науки. — 2008. — Спец. вып. — С. 126—132.

6. Влияние наноструктурирования водорастворимых смазочных материалов на повышение эффективности механической обработки / Г. И. Шульга [и др.] // Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии: тез. докл. II Междунар. науч.-техн. конф., 21—25 июня 2010 г., Плёс, Ивановская обл. — Плёс, 2010. — С. 270.

Материал поступил в редакцию 20.12.2011.

**References**

1. Shul`ga, G. I. Funkcional`ny`e vodorastvorimy`e texnologicheskie smazochny`e sredstva dlya obrabotki materialov: monografiya / G. I. Shul`ga; Izv. vuzov. Severo-Kavkaz. region. — Rostov-na-Donu: [b. i.], 2004. — 212 s. — In Russian.

2. Shul`ga, G. I. Vliyanie nanoklasterov medi i bronzy` na smazochny`e svojstva vodorastvorimogo smazochnogo materiala RV-18 / G. I. Shul`ga, A. O. Kolesnichenko // Izv. vuzov. Severo-Kavkaz. region. Problemy` triboe`lektroximii. Texn. nauki. — 2005. — Specz. vy`p. — S. 19—23. — In Russian.

3. Shul`ga, G. I. Issledovanie smazochny`x svojstv plastichnogo smazochnogo materiala PSM-1, ispol`zuemogo v tribosopryazheniyax avtomobilej / G. I. Shul`ga, E. V. Skrinnikov // Problemy` sinergetiki v tribologii, triboe`lektroximii, materialovedenii i mexatronike: materialy` VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. g. Novocherkassk, 5 noyab. 2009 g. / Yuzh.-Ros. gos. texn. un-t (NPI). — Novocherkassk: YuRGTU (NPI), 2009. — S. 90—96. — In Russian.

4. Nanoinzheneriya smazochny`x materialov dlya povy`sheniya e`ffektivnosti mexanicheskoj obrabotki detalej, dolgovechnosti tribosopryazhenij uzlov transportny`x sredstv i sistem / G. I. Shul`ga [i dr.] // Progress transportny`x sredstv i sistem — 2009: materialy` Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / Volgograd. gos. texn. un-t; redkol.: M. V. Lyashenko [i dr.]. — Ch. 2. — Volgograd, 2009. — S. 212—213. — In Russian.

5. Shul`ga, G. I. E`kologicheskie problemy` razrabotki, primeneniya i utilizacii vodorastvorimy`x texnologicheskix smazochny`x sredstv / G. I. Shul`ga, T. G. Shul`ga // Izv. vuzov. Severo-Kavkaz. region. Problemy` e`lektroximii i e`kologii. Estestvenny`e nauki. — 2008. — Specz. vy`p. — S. 126—132. — In Russian.

6. Vliyanie nanostrukturirovaniya vodorastvorimy`x smazochny`x materialov na povy`shenie e`ffektivnosti mexanicheskoj obrabotki / G. I. Shul`ga [i dr.] // Sovremenny`e metody` v teoreticheskoj i e`ksperimental`noj e`lektroximii: tez. dokl. II Mezhdunar. nauch.-texn. konf., 21—25 iyunya 2010 g., Plyos, Ivanovskaya obl. — Plyos, 2010. — S. 270. — In Russian.

## FUNCTIONAL TECHNOLOGICAL LUBRICANTS STRUCTURIZED WITH NONFERROUS METAL NANOPOWDERS FOR EFFICIENCY UPGRADING OF TRANSPORT PART CUTTING

**G. I. Shulga**
(South Russia State Technical University),
**A. O. Kolesnichenko**
(LLC 'Production Company "Novocherkassk Electric Locomotive Plant"'),
**E. V. Skrinnikov**
(South Russia State Technical University),
**T. G. Shulga**
(Rostov State Transport University)

*Incorporation of functional water-soluble technological lubricants (FWTL) of zinc nanopowder into fractal clusters improves their greasy properties, and increases the stamping efficiency and iron plate draw-forming under the transport body parts fabrication.*
***Keywords:*** *functional lubricant, fractal cluster, nanopowder, nanostructuring, synergetics, nanofilm, stamping, draw-forming.*

# ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

УДК 811.161.1

## Русский язык в поликультурной образовательной парадигме: проблемы организации обучения и методики преподавания

**И. П. Лысакова**
(Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена),
**С. С. Хромов**
(Московский государственный университет экономики, статистики и информатики)

*В современной методике преподавания русского языка выделяются три основных направления: 1) русский язык как родной, 2) русский язык как неродной, 3) русский язык как иностранный. Наименее разработанным является второе направление, которое часто ошибочно трактуется как «русский язык в национальной школе». Подробно анализируется опыт кафедры межкультурной коммуникации Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена по организации обучения русскому языку как неродному и его лингводидактическому обеспечению в поликультурной школе.*
***Ключевые слова:*** *русский язык как неродной, поликультурный, образовательная парадигма, методика преподавания, азбука, «С русского на русский, или Кстати сказать».*

**Введение.** За последние десять лет не только в повседневном общении, в СМИ, но и на государственном уровне в отношении к русскому языку наметился явный позитивный сдвиг, стали актуальными проблемы правильности русской речи, её нормативности, истории русского языка и его современного состояния.

Как известно, русский язык является важнейшим средством человеческого общения, обеспечивающим, в частности, передачу информации и взаимопонимание говорящих на нём членов социума. Однако язык не только, как зеркало, пассивно отражает окружающую жизнь, но в определённой степени оказывает влияние на то, как его носитель видит мир, он воздействует на личность, формирует её, развивая лучшие или худшие стороны. Меняя таким образом личность, язык опосредованно меняет и общественную жизнь.

Обычно о взаимовлиянии языковой личности и языка как системно-структурного образования говорят при изучении иностранного, при знакомстве с другим мировидением, другой, скорее всего контрарной, культурой, но не менее значимо взаимоотношение родного и неродного языков на разных этапах развития общества и личности. К сожалению, в современной педагогике и методике преподавания ещё мало внимания уделяется роли языка в формировании и развитии личности, её социализации и культуризации в обществе, а связь здесь прослеживается самая непосредственная. Таким образом, язык из категории чисто лингвистической превращается в реальную общественно-политическую и социальную силу, становится своеобразной экономической категорией.

Реальная действительность, социокультурная практика заставляют нас рассмотреть актуальный вопрос о качественном изменении педагогической парадигмы образовательного процесса, о наполнении его культурологической составляющей. Опыт кафедры межкультурной коммуникации Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена подтверждает правильность разделения трёх направлений в методике преподавания русского языка: русского языка как родного, русского языка как неродного и русского языка как иностранного.

**Русский язык как неродной в полиэтнической образовательной парадигме.** Наименее разработанным оказалось второе направление — русский язык как неродной. Его часто путают с русским языком как иностранным. На самом деле это не так — и по цели, и по ожидаемому результату, и по контингенту учащихся, и по содержанию и условиям обучения.

Язык в условиях глобализации, массированного миграционного потока, информатизации современного общества оказался на стыке, перекрёстке культур, различных моделей обучения и социокультурного речевого поведения. Реальная языковая картина оказалась гораздо сложнее и противоречивее, чем ожидалось и прогнозировалось — как по содержанию протекающих процессов, так и по скорости развития.

В настоящее время общепризнано, что эффективное обучение русскому языку как иностранному невозможно без решения проблем межкультурной коммуникации. Но этот постулат не в меньшей степени относится и к русскому языку как неродному.

Дети мигрантов составляют до половины учащихся школ в крупных российских городах. И хотя власти не всегда помогают им адаптироваться, уже заработали программы, созданные на местах педагогами-практиками. Их опыт доказывает, что многие этнические проблемы разрешимы.

В соответствии с Федеральным законом «О государственном языке Российской Федерации», всё население Петербурга, независимо от национальной принадлежности, получает образование в учебных заведениях на русском языке. Этот закон обязывает обеспечить получение образования на русском языке в государственных и муниципальных образовательных учреждениях, принять меры по совершенствованию системы подготовки специалистов *русского языка как неродного.* Выполнение данного закона должно способствовать *гармонизации межнациональных* отношений в школьных коллективах и решению вопросов создания *толерантной* среды в регионе [1].

С 2003 года на филологическом факультете РГПУ им. А. И. Герцена (кафедра межкультурной коммуникации) функционирует бакалаврская образовательная программа «Русский язык как неродной и русская словесность», которая готовит преподавателей русского языка как неродного. Эта программа открыта на базе специализации «Иностранный язык и русский язык как иностранный». Трудности, с которыми сталкиваются преподаватели, работающие по этой программе, связаны не только с отсутствием учебных материалов. Сложности возникают и в процессе организации педагогической практики в школах с полиэтническим составом учащихся, где в одном классе сидят русскоязычные дети и дети, не владеющие русским языком с детства, не знающие культурных концептов и универсалий русской культуры.

Для подготовки квалифицированных преподавателей в 2005—2006 учебном году на филологическом факультете РГПУ им. А. И. Герцена была открыта магистерская программа «Теория и практика обучения межкультурной коммуникации в полиэтнической и поликультурной среде». Высококвалифицированный преподавательский состав кафедры (4 доктора наук, 8 кандидатов наук) и помощь других факультетов РГПУ им. А. И. Герцена позволили разработать авторские программы таких курсов, как «Основы теории коммуникации», «Этнопсихологические основы обучения неродному языку», «Дидактическое регионоведение», «Этнология и этнография народов мира», «Лингводидактические основы межкультурной коммуникации», «Речевая конфликтология», «Освоение русского языка как коммуникативного поведения», «Гендерные исследования и межкультурная коммуникация», «Речевые контакты в полиязычном обществе», «Актуальные проблемы изучения национального коммуникативного поведения», «Коммуникативно-прагматические аспекты изучения иностранного языка в контексте межкультурной коммуникации», «Петербург многонациональный», «Религиоведение» и др. В концепцию этих курсов были заложены константы русской культуры в сравнении с культурами азербайджанцев, грузин, таджиков, узбеков и представителей других народов, приехавших в Петербург из бывших республик Советского Союза.

Сейчас на кафедре межкультурной коммуникации РГПУ им. А. И. Герцена сформировался научно-методический центр подготовки преподавателей русского языка как неродного. В состав центра входят научно-исследовательская группа, школы с полиэтническим компонентом, волонтёры-студенты, научно-методическая лаборатория (обработка материалов практикумов: курсовые, бакалаврские, магистерские и кандидатские диссертации), курсы повышения квалификации преподавателей.

Коллектив кафедры межкультурной коммуникации взял на себя решение учебно-методических задач, чтобы с помощью студентов разработать методические материалы для обучения нерусскоязычных детей школьным предметам на русском языке и помочь преподавателям в проведении дополнительных коррекционных занятий. Параллельно с решением учебных задач студенты-практиканты сталкиваются с необходимостью использовать занятия по русскому языку для формирования толерантности в полиэтническом детском коллективе. Чтобы погасить проявление межнациональной неприязни, они создают условия психологического комфорта при обучении русскому языку, проводят занятия в обстановке взаимного уважения и доброжелательности, используя полученные в университете знания по этнопсихологии и лингвокультурологии.

В 2006 году Правительство Санкт-Петербурга одобрило «Программу гармонизации межэтнических и межкультурных отношений, профилактики проявлений ксенофобии, укрепления толерантности в Санкт-Петербурге на 2006—2010 годы» (программу «Толерантность»), а также План мероприятий по реализации данной Программы, имевшей межведомственный комплексный

характер и рассчитанной на поэтапную реализацию. РГПУ им. А. И. Герцена — один из основных разработчиков Программы. «Воспитание культуры толерантности через систему образования» — первый раздел программных мероприятий, задачами которого были «создание целостной системы научно-образовательного сопровождения Программы, направленной на развитие культуры гражданственности и толерантности в Санкт-Петербурге; совершенствование адресной научно-просветительской деятельности в сфере образования по формированию толерантной среды Санкт-Петербурга среди разных возрастных и этнических групп» [2].

Среди ожидаемых результатов предполагалась интеграция в образовательном пространстве Санкт-Петербурга детей и молодёжи различных национальностей, в том числе из мигрантов, формирование и реализация механизмов влияния системы образования в целом на создание толерантной среды Санкт-Петербурга. Существенным пробелом в этой программе было отсутствие понятия «русский язык как неродной». Потребовалась кропотливая работа кафедры межкультурной коммуникации и наших партнёров из НМЦ Кировского и Адмиралтейского районов с 2006 по 2010 годы по созданию учебных пособий и курсов повышения квалификации для учителей русского языка, чтобы во вторую программу «Толерантность», принятую Правительством Санкт-Петербурга на 2011—2015 годы, вошла целая система мероприятий по обучению мигрантов русскому языку как неродному (РКН) [3].

Кафедра межкультурной коммуникации, осуществляя научное руководство программами обучения РКН, опиралась на современные достижения социальной лингвистики, этнолингвистики и этнопедагогики [4]. При разработке методических рекомендаций по освоению русского языка как неродного центральной проблемой стало теоретическое осмысление проблемы билингвизма с позиции этнопсхологии и лингвокультурологии.

Двуязычие (билингвизм) мало изучено с физиологической, психологической и лингвокультурологической точек зрения. Выделяют разные его виды: *координативный* (координация по сферам общения, культурные миры — разные, один язык — для школы, другой — для семьи), *субординативный* (есть психологически доминирующий язык), *смешанный* (один и тот же предмет в разных языках имеет разные наименования — ситуация учебного билингвизма). Эта классификация неоднозначна, встречаются другие толкования видов билингвизма у разных учёных (Р.-Т. Белл, А. С. Маркосян, Е. М. Верещагин и др.). В случае с мигрантами иностранный язык не обязательно воспринимается как чужой, он может стать психически и социально близким (как бы родным по многообразию функций языком), если ребёнок с детства живёт в России. На российской почве возникла терминологическая триада: «русский как **родной**, русский как **неродной** (для живущих в России инородцев-мигрантов), русский как **иностранный** (для иностранцев, живущих за пределами России). Этот терминологический разнобой очень показателен, так как имеет исторические и методические причины.

В лингводидактическом плане с русским родным и русским иностранным всё понятно. Давно эти два брата идут параллельными путями, созданы разные научные направления и даже ВАК смирилась с разными номинациями одной специальности 13.00.02 — «Теория и методика обучения и воспитания (*русский язык*)» и «Теория и методика обучения и воспитания (*русский язык как иностранный*)».

На практике «русский язык как неродной» уже давно достаточно активно живёт своей особенной жизнью. В советское время этот предмет назывался «русский язык в национальной школе». Его нынешний преемник — «русский язык как язык межнационального общения» противопоставляется русскому языку как родному (Л. Г. Саяхова), или, у других авторов это «русский язык в общеобразовательных учреждениях с родным (нерусским) и русским (неродным)» (Е. А. Быстрова и др.). В «Лингводидактическом энциклопедическом словаре» А. Н. Щукина [5] «русскому языку как иностранному» и «русскому языку как неродному» посвящены отдельные словарные статьи. Но терминологическое сочетание «русский язык как неродной» трактуется как «русский язык в национальной школе» — таким образом, в содержание данного понятия не включается «русский язык для мигрантов», которые сегодня учатся в русскоязычной среде, в одних классах с носителями русского языка. Этот «третий» русский на практике иногда и вовсе не выделяют. Так в полиэтнических московских школах, где процент нерусскоязычных учеников ещё выше, чем в школах Санкт-Петербурга, предмет, рассчитанный на этих детей, называется «русский язык как иностранный» (РКИ). Конечно, это упрощает проблему, но не полностью решает её в научно-методическом плане, так как по уровню содержания и по объёму задач этот русский значительно отличается от русского языка как иностранного, хотя элементы методики РКИ, конечно, в преподавании РКН присутствуют.

Есть ещё один термин, который, на первый взгляд, может быть вполне пригодным для нашего предмета — «русский язык как второй» (ср. западную традицию English as second language). Московская исследовательница А. С. Маркосян в книге «Очерк теории овладения вторым языком» [6] подробно проанализировала возможные номинации «русского языка для мигрантов» и пришла к выводу, что нейтральный в эмоциональном плане термин «русский язык как второй» не может быть приемлемым в данном случае, вследствие многозначности понятия «как второй» (второй после материнского? второй иностранный? или как государственный: для белоруса, для татарина?).

В вузах Санкт-Петербурга феномен «русский язык для мигрантов» называют «русский язык как неродной» (РКН), чтобы отличить его от «русского языка как иностранного». Есть серьёзные различия между РКИ и РКН по целям и по методике обучения. Правда, некоторые коллеги видят в наименовании «неродной» ущербность (оттенок второсортности) для инофонов, овладевающих русским языком для жизни и работы в России. В научных статьях иногда используют сочетание «русский для инофонов», т. к. слово «мигранты» не всем нравится (но иностранцы, как и мигранты, тоже инофоны, и в этом случае стирается различие между РКИ и РКН).

На кафедре межкультурной коммуникации мы используем термин «русский язык как неродной», чтобы отделить проблему мигрантов, желающих *социализироваться* в российское общество, от проблемы иностранцев, приезжающих для *знакомства* с российской культурой и русским языком. У нас есть две бакалаврские программы «Русский язык как иностранный» и «Русский язык как неродной и русская литература», так как подготовка преподавателя русского языка как иностранного по существу отличается от подготовки преподавателя РКН (например, педпрактика по одной программе проводится в Польше, а по другой — в полиэтнической школе Санкт-Петербурга).

Очевидно, что номинация учебного предмета для детей в поликультурной школе будет одна — «русский язык», но содержание и методика преподавания на определённых стадиях обучения детей мигрантов будут иметь свои особенности, и учебные пособия по русскому языку у детей-инофонов на начальном этапе должны быть другими. Чтобы понять, какими именно, надо разобраться в номинации нашего «третьего русского», ведь наименование — первая ступень познания объекта. Это поможет найти эффективную методику и написать специальные пособия для быстрого овладения русским языком.

В осуществлении инновационной образовательной «Программы научно-методического сопровождения деятельности школ с полиэтническим составом учащихся» мы использовали термин «русский язык как неродной». Активное участие в реализации описываемой Программы принимал учебно-методический Центр языковой адаптации мигрантов, созданный на базе кафедры межкультурной коммуникации 19 октября 2006 года [7].

**Учебные пособия по русскому языку как неродному.** Большой резонанс в прессе получило вышедшее в свет в ноябре 2008 года учебное пособие для цыганских школ «Азбука для тех, кто изучает русский язык как неродной» [8] (в рамках проекта АДЦ «Мемориал» «Преодоление сегрегации и структурной дискриминации цыганских детей в школе через преподавание русского и цыганского языков»). Это обнаружило общественный интерес к проблеме образования мигрантов. Для нас, авторов «Азбуки», такой интерес был неожиданностью, и по просьбе издательства «Кнорус» мы решили создать учебно-методический комплекс «Русский букварь для мигрантов», который вышел в свет в мае 2010 года.

Учебно-методический комплекс (УМК) состоит из четырёх частей: 1) учебное пособие (И. П. Лысакова, Н. А. Бочарова, О. Г. Розова); 2) рабочая тетрадь для ученика (И. П. Лысакова, Т. Ю. Уша, О. Г. Розова, Т. Н. Матвеева, Т. А. Филимонова, Д. Т. Рашидова); 3) игровой мультимедийный тренажёр «Мой весёлый день» (О. В. Миловидова, Д. Т. Рашидова); 4) методическое руководство для преподавателя (И. П. Лысакова, Н. А. Бочарова, О. Г. Розова, Т. Ю. Уша, О. В. Миловидова). Этот комплекс может использоваться в качестве корректировочного сопровождения к «Азбукам» для русских школ на уроках и на дополнительных занятиях в группе детей-мигрантов [9].

Цели учебно-методического комплекса: помочь ученикам освоить фонетическую и интонационную систему русской речи; изучить буквы русского алфавита (графический облик буквы: прописная, строчная, печатная); овладеть навыками чтения букв, слогов, слов, элементарных предложений; сформировать коммуникативную компетентность, т. е. практическое владение речевыми формулами, используемыми в стандартных коммуникативных ситуациях (знакомство, магазин, урок и т. п.), навыками коммуникативной культуры (вежливость, правила поведения); при-

вить толерантное отношение к поликультурной ситуации в школе; способствовать успешной адаптации детей-инофонов в русской лингвокультурной среде.

Необходимость создания для российских полиэтнических школ такого УМК обусловлена тем, что русские азбуки обычно ориентированы на базовый культурный уровень семилетнего носителя русского языка, на развитие его речи и привитие культуры чтения, расширяющего детский кругозор и формирующего у ребёнка русскоязычную картину мира. Поэтому первые уроки в азбуках для российских общеобразовательных школ сделаны на материале русских фольклорных произведений (сказок, прибауток, потешек, поговорок), известных русскоязычным детям по занятиям в дошкольных учебных заведениях и в семье. Этот материал не знаком детям-инофонам и является причиной культурного шока на первых же занятиях по русскому языку, что не способствует социокультурной адаптации ребёнка-инофона.

Задумавшись над тем, как можно помочь детям и учителям полиэтнических школ, мы поняли, что нужна совершенно другая методика преподавания русского языка — та, по которой учат русскому языку иностранных учащихся. Наша кафедра межкультурной коммуникации долгие годы занимается подготовкой преподавателей русского языка как иностранного: мы существуем уже 18 лет и были созданы как кафедра методики обучения русскому языку как иностранному.

Созданный нами букварь адресован детям, которые не знают по-русски слов, не знают по-русски букв. Методика обучения в этом букваре отличается тем, что мы учим детей прежде всего фонетике — как произносить звуки. В букваре много заданий на фонетическую зарядку, чтобы научить мягкости и оглушению согласных, фонетическим законам русского языка. Есть упражнения и для овладения русской интонацией.

Предлагаемый учебно-методический комплекс поможет подготовить ребёнка, не владеющего русским языком, к поступлению в первый класс российской школы и может использоваться в качестве корректировочного сопровождения к азбукам для русских школ (например, к «Русской азбуке» под ред. В. Г. Горецкого, В. Д. Берестова и др.) на уроках и на дополнительных занятиях в группах детей-мигрантов, для подготовки домашних заданий. Композиция нашего букваря отражает алгоритм знакомства с русскими звуками по слоговому принципу, со словами, элементарными предложениями через повторение за учителем, проигрывание наизусть по ролям предложенных элементарных диалогов, каждый из которых сопровождается ситуативной иллюстрацией. В отличие от азбук для русских школ, в «Русском букваре для мигрантов» предлагается одновременное введение на уроке звуков (гласных, согласных) и букв, их обозначающих.

Учащиеся должны научиться чётко произносить звуки вслед за учителем, уметь соотносить звуки и буквы, делить слово на слоги, выделяя из них ударный, читать простейшие диалоги в букваре. Кроме того, важно обучить детей обычным бытовым диалогам для того, чтобы они начинали говорить по-русски со слов «Здравствуйте!», «Доброе утро!», «Спасибо!», чтобы они знали, как обратиться друг к другу. Этого нет в азбуке для русских детей, потому что дети обучились этому в дошкольных заведениях.

В конце букваря даётся страничка с дополнительным текстовым материалом для учителя, чтобы использовать тексты для отработки произношения и новой лексики с более подготовленными учащимися. В тексте букваря каждое задание сопровождается пиктограммой, которая помогает учителю организовать работу по определённому плану.

Мы надеемся, что этот букварь будет полезен и в старших группах детских садов, где тоже есть дети мигрантов, и эта методика будет востребована, потому что букварь лёгок для детского восприятия — это очень сильный стимул для того, чтобы дети научились читать по-русски.

Букварь является корректировочным пособием, дополнительным к общему учебнику, по которому дети занимаются в классе. Мы хотим помочь детишкам войти в мир русского языка. Проблема действительно очень острая, и в разных школах Петербурга она решается по-разному [10, 11]. Некоторые директора школ находят возможность создать дополнительные группы в послеурочное время для занятий с детьми мигрантов. И это лучший вариант. В других случаях мы посылаем своих студентов в качестве волонтёров. Но у нас всего 10 студентов, которые могут быть волонтёрами, и мы не можем обеспечить все школы. Есть выход, который предлагает Москва, где для детей-мигрантов в каждом районе создаются специальные школы русского языка [12].

Знание русского языка является основным показателем способности мигрантов адаптироваться в России: в противном случае по примеру Франции, Германии и Великобритании стихийно разовьётся анархия «мультикультуризма», приведшая летом 2011 года к беспорядкам в Европе на этнической почве. Не случайно Правительство Санкт-Петербурга включило в бюджет программы «Толерантность-2» (2011—2015 годы) статью о закупке Комитетом по образованию Санкт-

Петербурга «Русского букваря для мигрантов». 1 сентября 2011 года поликультурные школы города получили 6400 комплектов этого пособия, а 26 октября 2011 года коллектив авторов был удостоен медали лауреата на Всероссийской выставке «Образовательная среда 2011».

Опыт петербургских коллег несколько раз становился предметом широкого обсуждения в авторской программе «С русского на русский, или Кстати сказать» (авторы и ведущие — С. С. Хромов и К. Ю. Лепанова) на государственном канале «Радио России», который стал первопроходцем в освещении темы в средствах массовой информации России: первый раз — четыре года назад, последний раз — осенью 2011 года. Интересно, что первый раз передача вызвала противоречивые чувства у радиослушателей, что, впрочем, отражало настроения российской аудитории в то время: с одной стороны, понимание важности и нужности начатого дела, а с другой — некоторая настороженность, неверие в успех и даже открытое неприятие, агрессивность. Прошло совсем немного времени, всего несколько лет, и прошлогодние передачи уже прошли на ура, посыпались вопросы, раздавались звонки радиослушателей, приходили пачками письма. Всех уже интересовали детали: что, где, как, почему, когда. Радиопрограммы показали, что дело, начатое в Петербурге несколько лет назад, очень важно для государства.

**Выводы.** 1. На современном этапе в методике преподавания русского языка выделяются три основных направления: 1) русский язык как родной; 2) русский язык как неродной; 3) русский язык как иностранный.

2. Русский язык в поликультурной школе должен дифференцироваться по целям, содержанию и форме преподавания в зависимости от контингента учащихся.

3. Опыт кафедры межкультурной коммуникации РГПУ им. А. И. Герцена в области развития методики обучения мигрантов русскому языку как неродному получил признание и может служить образцом для организации обучения русскому языку как неродному в поликультурной школе и в других регионах России.

4. Русский язык должен выступать как инструмент толерантности в современном поликультурном образовательном пространстве.

**Библиографический список**

1. Федеральный закон № 53 «О государственном языке Российской Федерации» // Мир русского слова. — 2005. — № 1—2.

2. Программа гармонизации межэтнических и межкультурных отношений, профилактики проявления ксенофобии, укрепления толерантности в Санкт-Петербурге на 2006—2010 гг. — Санкт-Петербург, 2006.

3. Программа гармонизации межэтнических и межкультурных отношений, профилактики проявления ксенофобии, укрепления толерантности в Санкт-Петербурге на 2011—2015 годы. Электрон. ресурс. Режим доступа: http://dum-spb.ru/programma_tolerantnost_v_sankt-1 (дата обращения: 27.11.2011).

4. Лысакова, И. П. Русский язык как неродной: сотрудничество науки и практики в школах Санкт-Петербурга / И. П. Лысакова // Мир русского слова. — 2009. — № 4. — С. 76—80.

5. Щукин, А. Н. Лингводидактический энциклопедический словарь / А. Н. Щукин. — Москва: Астрель, 2007. — 746 с.

6. Маркосян, А. С. Очерк теории овладения вторым языком / А. С. Маркосян. — Москва: УМК «Психология», 2004. — 384 с.

7. Лысакова, И. П. Научно-методический центр языковой адаптации мигрантов / И. П. Лысакова, Н. Л. Шубина // Бюллетень учёного совета РГПУ. — 2006. — № 7. — С. 56—59.

8. Бочарова, Н. А. Азбука для тех, кто изучает русский язык как неродной: учеб. пособие / Н. А. Бочарова, И. П. Лысакова, О. Г. Розова. — Санкт-Петербург, 2008. — 48 с.

9. Лысакова, И. П. Русский букварь для мигрантов: учеб. пособие / Н. А. Бочарова, И. П. Лысакова, О. Т. Розова; под ред. И. П. Лысаковой. — Прил.: Мой весёлый день [Мультимедиа]: игровой мультимедийный тренажёр / О. В. Миловидова, Д. Т. Рашидова; под ред. И. П. Лысаковой. — 2-е изд., стер. — Москва: Кнорус, 2011. — 80 с. + 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — (Учебно-методический комплекс «Русский букварь для мигрантов»).

10. Русский язык как неродной — путь к жизненному и профессиональному успеху: мат-лы круглого стола РОПРЯЛ, проведённого на базе РГПУ им. А. И. Герцена 27 января 2006 г. — Санкт-Петербург, 2006.

11. Русский язык как инструмент интеграции мигрантов в российский социум: мат-лы круглого стола РОПРЯЛ, проведённого на базе РГПУ им. А. И. Герцена в рамках Форума русского языка как неродного 30 марта 2007 г. — Санкт-Петербург, 2007.

12. Интеграция мигрантов средствами образования: опыт Москвы / Ю. А. Горячёв [и др.]. — Москва: Этносфера, 2008. — 168 с.

Материал поступил в редакцию 22.12.2011.

**References**

1. Federal`ny`j zakon # 53 «O gosudarstvennom yazy`ke Rossijskoj Federacii» // Mir russkogo slova. — 2005. — # 1—2. — In Russian.

2. Programma garmonizacii mezhe`tnicheskix i mezhkul`turny`x otnoshenij, profilaktiki proyavleniya ksenofobii, ukrepleniya tolerantnosti v Sankt-Peterburge na 2006—2010 gg. — Sankt-Peterburg, 2006. — In Russian.

3. Programma garmonizacii mezhe`tnicheskix i mezhkul`turny`x otnoshenij, profilaktiki proyavleniya ksenofobii, ukrepleniya tolerantnosti v Sankt-Peterburge na 2011—2015 gody`. E`lektron. resurs. Rezhim dostupa: http://dum-spb.ru/programma_tolerantnost_v_sankt-1 (data obrashheniya: 27.11.2011). — In Russian.

4. Ly`sakova, I. P. Russkij yazy`k kak nerodnoj: sotrudnichestvo nauki i praktiki v shkolax Sankt-Peterburga / I. P. Ly`sakova // Mir russkogo slova. — 2009. — # 4. — S. 76—80. — In Russian.

5. Shhukin, A. N. Lingvodidakticheskij e`nciklopedicheskij slovar` / A. N. Shhukin. — Moskva: Astrel`, 2007. — 746 s. — In Russian.

6. Markosyan, A. S. Ocherk teorii ovladeniya vtory`m yazy`kom / A. S. Markosyan. — Moskva: UMK «Psixologiya», 2004. — 384 s. — In Russian.

7. Ly`sakova, I. P. Nauchno-metodicheskij centr yazy`kovoj adaptacii migrantov / I. P. Ly`sakova, N. L. Shubina // Byulleten` uchyonogo soveta RGPU. — 2006. — # 7. — S. 56—59. — In Russian.

8. Bocharova, N. A. Azbuka dlya tex, kto izuchaet russkij yazy`k kak nerodnoj: ucheb. posobie / N. A. Bocharova, I. P. Ly`sakova, O. G. Rozova. — Sankt-Peterburg, 2008. — 48 s. — In Russian.

9. Ly`sakova, I. P. Russkij bukvar` dlya migrantov: ucheb. posobie / N. A. Bocharova, I. P. Ly`sakova, O. T. Rozova; pod red. I. P. Ly`sakovoj. — Pril.: Moj vesyoly`j den` [Mul`timedia]: igrovoj mul`timedijny`j trenazhyor / O. V. Milovidova, D. T. Rashidova; pod red. I. P. Ly`sakovoj. — 2-e izd., ster. — Moskva: Knorus, 2011. — 80 s. + 1 e`lektron. opt. disk (CD-ROM). — (Uchebno-metodicheskij kompleks «Russkij bukvar` dlya migrantov»). — In Russian.

10. Russkij yazy`k kak nerodnoj — put` k zhiznennomu i professional`nomu uspexu: mat-ly` kruglogo stola ROPRYaL, provedyonnogo na baze RGPU im. A. I. Gercena 27 yanvarya 2006 g. — Sankt-Peterburg, 2006. — In Russian.

11. Russkij yazy`k kak instrument integracii migrantov v rossijskij socium: mat-ly` kruglogo stola ROPRYAL, provedyonnogo na baze RGPU im. A. I. Gercena v ramkax Foruma russkogo yazy`ka kak nerodnogo 30 marta 2007 g. — Sankt-Peterburg, 2007. — In Russian.

12. Integraciya migrantov sredstvami obrazovaniya: opy`t Moskvy` / Yu. A. Goryachyov [i dr.]. — Moskva: E`tnosfera, 2008. — 168 s. — In Russian.

## RUSSIAN IN MULTICULTURAL EDUCATIONAL PARADIGM: PROBLEMS OF TEACHING PROCESS ORGANIZATION AND TEACHING METHODS

**I. P. Lysakova**
(Herzen State Pedagogical University of Russia),
**S. S. Khromov**
(Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics)

*Modern methods of teaching Russian can be divided into three main areas: 1) Russian as native language, 2) Russian as non-native language, 3) Russian as foreign language. The second direction is the least developed and often misinterpreted as 'Russian in the national school'. The experience of the Intercultural Communication Department of Herzen State Pedagogical University of Russia in organizing the teaching process of Russian as non-mother tongue, and its linguo-didactic support in the multicultural school, is closely analyzed.*
***Keywords:*** *Russian as non-mother tongue, multicultural, educational paradigm, teaching methods, alphabet, «From Russian into Russian, or By the Way» (radio program).*

УДК 502.17:316.324

## Космогармония. Поиск новых антикризисных экологических стратегий

**А. Е. Аствацатуров**
(Донской государственный технический университет)

*В процессе глобализации человечество стало критически относиться к традиционным идеалам развития цивилизации. Идёт напряжённый поиск рациональных путей развития, новых ценностей, которые могли бы разрешить противоречия и защитить цивилизацию от глобальной катастрофы. Любая философская система есть разрешение противоречий времени. Философское понимание экологического противоречия и пути восхождения к ноосфере даёт концепция космогармонии, опирающаяся на диалектическое единство фундаментальных и философских знаний, ведущих к новому миропониманию.*
***Ключевые слова:*** *глобализация, экология, космогармония, экологическая безопасность, экологический кризис, философия, биосфера, техносфера, синергетика.*

**Введение.** Мировой кризис, поразивший социально-экономические основы, экологию и другие жизненно важные сферы современной цивилизации, радикально изменил представление о стратегии защиты от деструктивных поражений глобализации как социального феномена. Следует подчеркнуть, что современный кризис носит как глобальный, так и парадигмальный характер. Глобальный — поскольку этот процесс охватывает все основные сферы жизнедеятельности общества; парадигмальный — по той причине, что общество переживает кризис базовых ценностей и оснований всего мироустройства [1].

В наши дни мировой кризис обнаружил глубокие противоречия современного мира, нанёсшие удар по самому процессу образования общепланетарной цивилизации. В этих условиях стало совершенно очевидно, что человечество подошло к тому катастрофическому рубежу, при котором пути к выходу из глобального экологического кризиса, к выживанию лежат через решительные новаторские действия стабилизации экономики, экологической ситуации, социальных основ общества. Для того чтобы такая стабильность стала реальной и обрела созидательный характер, необходимо как можно скорее изменить отношение каждого человека и всего общества к природе, ресурсам планеты, перестроить миропонимание и образ жизни, в том числе потребительское отношение к среде обитания. У человека на современном этапе истории созрела некоторая общепланетарная цель: поиск новых стратегий социальных, экологических и других принципов нормальной жизнедеятельности в условиях глобального мирового кризиса.

**Начала поиска антикризисных стратегий.** Рассмотрим исследования, связанные с вопросами самоорганизации, под новым углом зрения, соотнося их с проблематикой глобальной безопасности современной цивилизации и выхода из чрезвычайно трудной экологической обстановки через узкие ворота научных и духовных возможностей человечества. Обратимся к проблемам техногенного характера.

В современной цивилизации коренным фактором, определяющим процессы изменения социальной жизни, является развитие техники и технологии. В системе ценностных приоритетов на всех этапах развития техногенной культуры вплоть до нашего времени человек как активное существо должен направлять свою деятельность на преобразование и подчинение природы. В этой связи особое место в системе ценностей техногенной цивилизации заняло научно-техническое понимание мира, которое стало базисным в его эволюции. При такой модели развития человек должен научно обоснованно познать, освоить, подчинить себе природу и на этой основе улучшать социальную жизнь. Однако реально в ходе эволюции такое миропонимание привело общество в состояние глубокого кризиса. Быстрое и успешное развитие техногенной цивилизации (научно-

технический прогресс, создание новых, всё более комфортных условий жизни, повышение промышленно-экономической мощи и т. п.) создавало иллюзорную уверенность, что именно техносфера, наращивание технико-технологической мощи — основа процветания всего человечества. Естественно, эти мировоззренческие установки повлияли на представления о других ценностях техногенного общества, таких как благо или зло, свобода, прекрасное и безобразное, добро, труд и т. д. Ещё всего лишь несколько десятилетий назад человечество не сомневалось в правильности пути развития техногенной цивилизации, несущей прогресс и социальные блага. Мало кто задумывался над тем, что система ценностей общества, базирующегося на техносфере, может оказаться в критической ситуации. И лишь во второй половине XX в. стали появляться грозные симптомы глобальных экологических катастроф и глубоких, разрушительных энергетических, демографических и других кризисов.

Сегодня стало очевидно, что для поддержания установившегося в человеческом обществе образа жизни (в ориентации на промышленное развитие страны) существующих ресурсов уже явно недостаточно. Человечество всё чувствительнее испытывает недостаток в ресурсах, необходимых для нормальной жизнедеятельности. В наше время в промышленно развитых странах стали характерными такие явления, как недостаток полноценной пищи, отсутствие чистого воздуха и чистой питьевой воды, земли, пригодной для выращивания сельскохозяйственных культур. В то же время человечество и все живые организмы в окружающей нас среде находятся под нагрузкой невиданных ранее уровней шума и вибрации, загрязнения среды обитания электромагнитными полями, радиацией техногенного происхождения и ещё многими другими патогенными явлениями, связанными с бурным развитием техногенно-информационных технологий. Все эти характерные явления времени — признаки надвигающегося глобального кризиса. И ещё одна реальность — бесконтрольное использование земных ресурсов и катастрофическое уменьшение их невозобновимых запасов. Уже в течение первой половины нынешнего тысячелетия ресурсы земли могут быть исчерпаны (если не произойдёт значительное уменьшение их потребления, что в реальной обстановке маловероятно). А это означает, что становится неизбежной борьба за ресурсы, которая отрицательно повлияет на решение неотложных экологических проблем.

**Анализ основных достижений синергетики в формировании новых мировоззренческих ориентаций.** Решение задачи реализации экологического императива неразрывно связано с преодолением противоречий в борьбе народов за ресурсы. Эти вопросы определяют содержание глобальной экологической безопасности и выживание человека на Земле.

В настоящее время человечество критически относится к традиционным идеалам развития цивилизации. Идёт напряжённый поиск рациональных путей развития, новых ценностей, которые могли бы защитить цивилизацию от глобальной катастрофы и обеспечить новую стратегию безопасного прогресса человечества.

Проведём небольшой сопоставительный анализ основных положений из достижений синергетики, изложенных в работах известных учёных. Речь идёт об исследованиях, где делается попытка представить синергетику сферой сближения естественнонаучного и гуманитарного знания — иными словами, синергетическое познание осмысливается как междисциплинарный, коэволюционный процесс.

Рассматривая перспективы развития техногенной цивилизации, пути обеспечения стратегии выживания общества и новых оснований прогресса человечества, академик В. С. Стёпин отмечает, что предпосылки для новой мировоззренческой ориентации сегодня формируются внутри самой техногенной цивилизации, на переходе её от индустриального к постиндустриальному развитию [2]. При этом, по мнению известного философа, приоритетная ценность духа и деятельности человека, связанная с тенденциями постиндустриального развития, не только сохранится, но и обретёт новые измерения. «Весьма вероятно, что преодоление экологического кризиса будет

связано не с сохранением дикой природы в планетарных масштабах (что уже сегодня невозможно без резкого, в десятки раз, сокращения населения Земли), а с расширяющимся окультуриванием природной среды. В этом процессе важную роль будут играть не только природоохранные меры, направленные на сохранение тех или иных естественных локальных экосистем, но и искусственно созданные биогеоценозы, обеспечивающие необходимые условия устойчивости биосферы… И в этом будет состоять предназначение человека, который так изменил облик планеты, что стал реальной силой, определяющей сохранение биосферы».

По мнению академика Н. Н. Моисеева, восстановить естественное равновесие природных циклов, нарушенное в результате человеческой деятельности, теми методами, которыми мы владеем сегодня, невозможно. Рассматривая две очевидные альтернативы восстановления равновесия: «либо перейти к полной автотрофности, т. е. поселить человека в некой техносфере, либо уменьшить антропогенную нагрузку на биосферу примерно в 10 раз», Н. Н. Моисеев утверждает, что ни одна из этих альтернатив не может быть реализована ни сегодня, ни в обозримое время [3]. Более или менее приемлемый путь выхода из экологического кризиса учёный представляет в виде долгосрочной переходной программы изменения общества и окружающей среды. Такая программа должна опираться на целый комплекс программ, включая технические (технического и технологического развития), социальные (образования и переустройства общества, выработки определённого нравственного императива общества, его потребностей и т. д.). Поиск качественно нового пути развития цивилизации, который мог бы в конечном счёте обеспечить состояние коэволюции Природы и Общества, Моисеев видит в создании ***стратегии человечества***, т. е. целенаправленной системы действий для облегчения переходного периода. При этом, по замыслу автора «Стратегии», она должна иметь две главные составляющие: технико-технологическое перевооружение и преобразование самого человека, т. е. изменение сознания, утверждение в людях новой нравственности. Научно-технологическая составляющая новой «Стратегии», предполагает борьбу с последствиями научно-технического прогресса путём, как это ни парадоксально, дальнейшего развития науки и техники. Речь идёт о значительном увеличении эффективности использования ресурсов и снижении нагрузки на биосферу. Технических решений требуют также проблема пищи (создание новых технологий сельскохозяйственного производства), проблема загрязнения экосистем планеты, которая таит реальную угрозу катастроф и связана с перерождением самой природы человека как биологического вида и т. д. Наконец, все технологические программы предстоит увязать с деятельностью социальной сферы, т. е. необходимо, чтобы технологические и социальные программы были сопряжены между собой.

Казалось бы, все вопросы логически распределены по соответствующим нишам, тем не менее, автор «Стратегии» признаёт, что перед человечеством встают вопросы, с которыми оно прежде никогда не сталкивалось: «Можно ли восстановить равновесие в биосфере и на каком уровне? Каковы будут характеристики нового (ожидаемого) равновесного состояния? Насколько это равновесие окажется пригодным для жизни человека?».

Вторая составляющая «Стратегии» — нравственность, которую принято понимать как общественно необходимые нормы и принципы поведения. Утверждение этих основ, по мнению автора «Стратегии», происходит стихийно, механизмы этого утверждения весьма малопонятны и, вероятнее всего, зависят от особенностей цивилизации – традиций, духовного уклада данного народа и др. Именно поэтому Моисеев, говоря о программах культуры и нравственности, высказывает серьёзное сомнение, ибо в этом вопросе «необходимы более глубокая моральная перестройка самого духа и смысла человеческой культуры, обретение нового смысла существования». И здесь также возникают вопросы. Возможно ли это за ограниченное количество времени? И несмотря на все сомнения, Моисеев отмечает, что «другого пути у нас просто нет».

Анализируя систему ценностей и мировоззренческих образов техногенной цивилизации, В. С. Стёпин рассматривает новую стратегию деятельности с саморазвивающимися системами. Стратегия и методологический аппарат, который может быть развит на базе выработанных известным учёным положений, тесно связаны с философией науки и, на наш взгляд, представляют значительный интерес для исследователей в поиске путей выхода из экологического кризиса цивилизации.

При рассмотрении современного научно-технического развития как предпосылки возникновения новых ценностей В. С. Стёпин предлагает осуществить синтез двух противоположных представлений о роли человека во взаимодействии с природой. С одной стороны, в системе ценностей и мировоззренческих принципов, укоренившихся в техногенной, западной культуре, человек рассматривается как распорядитель, имеющий право вмешательства в процессы, происходящие в природе, когда его активная деятельность направлена вовне, на преобразование мира. С другой – согласно восточной традиционалистской системе ценностей – человек, обитающий в природной среде, ориентирован не столько вовне, сколько внутрь, на самоограничение, самопознание, самовоспитание, включение в традицию.

Необходимость осуществления такого синтеза и создания единой системы ценностей и мировоззренческих взглядов возникает на почве осознания опасности глобальных кризисов — экологических и антропогенных [4]. Этому способствуют также современные тенденции научно-технического развития — базисные составляющие техногенной цивилизации.

**Системный подход и роль человека в принятии антикризисных решений.** В современных производственных технологиях промышленно развитых стран технические средства являются лишь составной частью системы «Человек — Техника — Природа», где сложная развивающаяся система представляет собой единую структуру, в которой взаимосвязаны и взаимозависимы компоненты: человек-оператор, техническое устройство, природа и всё, что входит в окружающую человека среду. Такой системный подход осуществляется при проектировании сложных современных машин и аппаратов, где учитываются не только технико-экономические характеристики и условия безопасности технических средств. Процесс создания сложных объектов вплоть до космических аппаратов включает в себя изучение и научно обоснованный учёт человеческого фактора (особенно психофизиологических, антропометрических данных) и экологических показателей системы (в опубликованных ранее монографиях были представлены результаты нашей работы, включающие методологические основы, новые разработки упомянутой выше системы «Человек — Техника — Природа» и их социально-экономические преимущества). Именно о таком комплексном подходе (рассматривая проблемы психологии, физиологии и гигиены труда) говорил в своё время академик В. М. Бехтерев, предрекая, что системный подход даст максимум производительности при оптимуме или максимуме здоровья, при отсутствии переутомления и при гарантии полного здоровья и развития личности человека.

Стратегия деятельности с саморазвивающимися человекоразмерными системами (термин В. С. Стёпина), получившая сегодня право на жизнь в науке и современных технологиях, перекликается с древневосточными идеями о связи истины и нравственности. В современную научную картину мира уже не вписывается «техногенное» понимание природы как косной среды. Теперь наука утверждает, что живая природа — это сложный экологический механизм, развиваются идеи В. И. Вернадского, представляющего биосферу как целостную систему жизни современной экологии. В этой ситуации новое видение природной среды, в которой протекает жизнедеятельность человечества, стало научным принципом. В таком видении мира как единого организма человечество, не отказываясь от объективного исследования, вынуждено идти по пути применения особых стратегий деятельности, учитывающих характеристики человекоразмерных объектов.

Результаты проведённого анализа указывают на принципиальную невозможность просчитать будущие траектории системы в точках бифуркации. Это всякий раз ставит перед действующим субъектом новые проблемы — и в том числе проблему выбора. Чтобы не попасть в катастрофические траектории, человеку придётся отсекать неблагоприятные сценарии развития событий в рассматриваемой системе. Однако не только эта информация может предостеречь от опасных, необдуманных действий человека как главное звено системы. Ведущую роль должны сыграть нравственные ценности и установки. Именно в безнравственных, непрофессиональных либо ошибочных действиях автор видит причину катастроф, подобных взрыву на Чернобыльской АЭС, гибели космического корабля «Челленджер» и т. п.

**Выводы.** Стратегии, ведущие человечество к преодолению экологического кризиса, если они могут быть найдены, рассматриваются современными учёными под разными углами зрения. Есть в рассмотренных работах и общие немаловажные положения. Мировоззренческий аспект проблемы, обращение к истории общественной мысли позволяют авторам развенчать идею об экологически агрессивной природе человека, вскрыть несостоятельность технократического подхода к проблеме преодоления экологического кризиса, убедительно раскрыть негатив, вытекающий из гипертрофии человеческой исключительности. Все рассмотренные стратегии в концептуальном смысле целеустремлены на поиск качественно нового пути развития цивилизации для достижения глобальной цели — обеспечения безопасного для жизнедеятельности человечества состояния коэволюции природы и общества.

Философия глобальной безопасности современной цивилизации, философские исследования причин возникновения и природы глобальных экологических катастроф пока не получили адекватного развития, хотя актуальность этой проблемы не вызывает сомнения. Это подчёркивается многими авторами современных исследований. Вместе с тем очевидно, что недостаток публикаций и глубоких исследований по этому вопросу затрудняет продвижение процесса научно-философских изысканий в указанном направлении.

Понятия синергетики позволяют разрабатывать сложные модели, в числе которых — глобальные экологические системы, системы взаимодействия человека и техносферы, взаимосвязи динамики народонаселения и деградации окружающей среды, системы энергетических и информационных взаимодействий биосферы, человеческого общества и техносферы.

Для названных открытых систем, в том числе экологических, характерны сложность, диссипативность, нелинейные взаимодействия организмов и растений между собой и окружающей средой. В процессе поиска выхода из глобального экологического кризиса *теория сложных систем* может оказать реальную помощь в повышении уровня безопасности жизнедеятельности цивилизации, включая решение проблем рационального использования энергии, климата и других жизненно важных сфер существования общества и биосферы.

До появления синергетических представлений одно из видных мест в перечне причин кризисов и крупных катастроф занимала случайность. Существует даже официальный термин «несчастный случай», который, как правило, связывают со случайностью. Синергетика показала, что в условиях хаотизации случай действительно может привести к неожиданным и непредсказуемым эволюционным процессам, в ходе которых возрастает потенциальная опасность крупных катастроф. Однако, когда на смену хаосу приходит упорядоченность и реализуется принцип самоорганизации, вероятность того, что случай дестабилизирует систему, резко уменьшается. Таким образом, с уменьшением энтропии системы (а следовательно, и ростом её упорядоченности) вероятность случайных катастроф и связанных с ними негативных последствий существенно снизится.

Человеческий фактор играет доминирующую роль среди причин катастроф в техносфере, непосредственно влияющих на усугубление экологического кризиса. Если учесть философскую оценку синергетики как науки о становящемся бытии, то пристального внимания заслуживает

концепция новых превентивных стратегий процессов образования, в которых доминантой должна стать целостность знания, преодолевающая дихотомию нашей ментальности и устанавливающая гармонические отношения человека и природы.

Преодоление разобщённости между науками и решение сложной проблемы противостояния человека и природы зависит от уровня мышления. Доминирующее положение в решении формирования нового космогармонического мышления, нацеленного на создание надёжной стратегии экологической безопасности, принадлежит философии науки. Однако глубокие исследования вопроса защиты от глобальных кризисов показали, что развитие аналитических принципов решения этой задачи потребует также использования фундаментальных знаний смежных наук.

В доктрине космогармонии [5] экологической безопасности, представленной в монографии «Философия научного оптимизма в решении планетарных экологических проблем», построена теоретическая модель, содержащая новые идеи выхода из глобального экологического кризиса. Геометрические пространственно-динамические схемы, входящие в общую модель, представляют попытку отобразить всеобщий, господствующий в природе волновой принцип, причастный к структуре мышления. Геометрия гармонии форм, динамики космических явлений, траекторий движения объектов мироздания, по нашему глубокому убеждению, открывает величайшие возможности познания законов космоса. Концепция форм и динамических процессов, разработанных в модели, содержит элементы новизны и может быть использована в последующих исследованиях.

**Библиографический список**

1. Басилаиа, М. А. Необходимость снижения экологической опасности как императив глобального мироустройства. Философский анализ: автореф. дис. … д-ра филос. наук / М. А. Басилаиа. — Ростов-на-Дону, 2011. — 52 с.

2. Стёпин, В. С. Саморазвивающиеся системы и перспективы техногенной цивилизации / В. С. Стёпин // Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. — Москва, 2000. — С. 12—128.

3. Аствацатуров, А. Е. Философия научного оптимизма в решении планетарных экологических проблем: дис. … д-ра филос. наук. — Ростов-на-Дону, 2003. — 354 с.

4. Аствацатуров, А. Е. Глобализация и начала космогармонии / А. Е. Аствацатуров, М. А. Басилаиа // Век глобализации. — 2009. — № 2 (4). — С. 71—80.

5. Astvatsaturov, A. E. Perpetual motion or the ‘flowing-river principle’ Review / A. E. Astvatsaturov // Oxford Philosophical Society. — Oxford, 2011. — No. 33.

Материал поступил в редакцию 08.12.2011.

**References**

1. Basilaia, M. A. Neobxodimost` snizheniya e`kologicheskoj opasnosti kak imperativ global`nogo miroustrojstva. Filosofskij analiz: avtoref. dis. … d-ra filos. nauk / M. A. Basilaia. — Rostov-na-Donu, 2011. — 52 s. — In Russian.

2. Styopin, V. S. Samorazvivayushhiesya sistemy` i perspektivy` texnogennoj civilizacii / V. S. Styopin // Sinergeticheskaya paradigma. Mnogoobrazie poiskov i podxodov. — Moskva, 2000. — S. 12—128. — In Russian.

3. Astvaczaturov, A. E. Filosofiya nauchnogo optimizma v reshenii planetarny`x e`kologicheskix problem: dis. … d-ra filos. nauk. — Rostov-na-Donu, 2003. — 354 s. — In Russian.

4. Astvaczaturov, A. E. Globalizaciya i nachala kosmogarmonii / A. E. Astvaczaturov, M. A. Basilaia // Vek globalizacii. — 2009. — # 2 (4). — S. 71—80. — In Russian.

5. Astvatsaturov, A. E. Perpetual motion or the 'flowing-river principle' Review / A. E. Astvatsaturov // Oxford Philosophical Society. — Oxford, 2011. — No. 33.

## COSMOHARMONY. QUEST FOR NEW ANTIRECESSION ECOLOGICAL STRATEGIES

**A. E. Astvatsaturov**
(Don State Technical University)

*In the course of globalization the humanity has become critical of the traditional ideals of the civilization evolution. It is in the arduous quest for rational development paths, novel values capable of sorting out differences and protecting the civilization from the global disaster. Any philosophical system is time conflict resolution. Philosophical comprehension of the environmental antagonism and the way of ascending to the noosphere is attainable through the concept of cosmoharmony resting upon dialectical unity of fundamental and philosophical knowledge giving rise to a new world outlook.*
***Keywords:*** *globalization, ecology, cosmoharmony, environmental safety, ecological crisis, philosophy, biosphere, technosphere, noosphere, synergetics.*

УДК 316.3:159.923.2

## Индивидуальная и коллективная идентичность в современном российском обществе: к проблеме методологии социокоммуникативного анализа

**О. В. Дружба**
(Донской государственный технический университет),
**С. В. Резванов**
(Ростовский государственный строительный университет)

*Рассмотрены вопросы формирования теоретико-методологической основы исследования проблем индивидуальной и коллективной идентичности через призму социокоммуникативных процессов. Показано, что процесс формирования человеческой идентичности сопряжён с такими процессами социально-коммуникативной природы, как интернализация и конституирование ценностного сознания общества.*
***Ключевые слова:*** *индивидуальная идентичность, коллективная идентичность, социокоммуникативные процессы современного российского общества.*

**Введение.** Теоретическому осмыслению проблемы идентичности посвящены многочисленные работы представителей различных областей гуманитарного знания — философии, социологии, психологии, культурологи, истории. Некоторые аспекты междисциплинарного анализа идентичности имеют значительный интерес в контексте проблемы интеграции современного российского общества.

Человеческая идентичность представляет собой сложный в структурном плане психосоциальный феномен, возникающий как результат процесса самоопределения человека, постижения им собственной самости через отождествление себя с другими людьми, культурно-историческими образами, персонажами, социально-культурными общностями. При этом обретение человеком аутентичной идентичности всегда означает факт осознания им своей уникальности, индивидуальности — как личностной, так и коллективной. Уникальный, индивидуализированный образ личностного «Я» выкристаллизовывается в сознании субъекта путём отождествления себя с Другим и на основе сопоставления и дифференциации собственных характеристик и характеристик, присущих Другому.

**Теоретические аспекты проблемы формирования индивидуальной идентичности.** Значительный интерес представляет точка зрения на феномен человеческой идентичности французского философа П. Рикёра. В работе «Я-сам как другой» он акцентирует внимание на том, что проблема личной идентичности коренится в двойственности термина «идентичность», который, с одной стороны, может употребляться в значении тождественности, с другой — в значении самости [1, с. 145]. Решающее значение при формировании индивидуальной идентичности играет способность рефлектирующего «Я» к постижению собственной инаковости. Рикёр подчёркивает, что «…в идентичности… задействована диалектика дополнительная к диалектике самости и самотождественности, а именно диалектика „Я“ и „другого, нежели Я“. Пока мы остаёмся в кругу идентичности-самотождественности, инаковость другого, нежели „Я“, не представляет ничего оригинального… Дело выглядит совершенно иначе, если инаковость мы сочетаем с самостью» [1, с. 18]. Выражение «я-сам как другой», по словам П. Рикёра, «с самого начала имеет в виду, что самость самого себя подразумевает инаковость в столь глубинной степени, что одну невозможно помыслить без другой, что одна, скорее, переходит в другую, если говорить на языке Гегеля. С „как“ нам бы хотелось связать сильное значение, не только сравнения — самого себя, подобного Другому, — но ещё и импликацию: самого себя в качестве… другого» [1, с. 19].

Сущностная характеристика идентичности — многогранность, многосторонность. Российский философ М. Хомяков, акцентируя внимание на интегративности феномена человеческой идентичности, отмечает в качестве основных его элементов родовую, групповую и индивидуальную идентичности. Однако доля этих идентичностей, существующих в составе индивидуальной «самости» и через неё, может быть различной. Условием формирования названных идентичностей является собственное «другое», от которого происходит отталкивание [2].

Таким образом, феномен человеческой идентичности в самом общем виде представляет собой достаточно сложный образно-оценочно-смысловой конструкт, формирующийся в индивидуальном сознании на основе синтеза результатов различного рода идентификаций.

Следует отметить, что «самоидентификация человеческих индивидов является во всех её проявлениях социальной» [3] и, в конечном итоге, полноценность идентичности, интегрированность образа собственного «я» будет зависеть, по словам американского исследователя Э. Эриксона, «от той поддержки, которую человек черпает из коллективного чувства идентичности, характеризующего значимые для него социальные группы: его класс, его нацию, его культуру» [4, с. 136].

Важным конститутивным элементом человеческой идентичности, определяющим характер социокультурных отношений в современном мультикультурном мире, является социальная идентичность как «осознание, ощущение, переживание своей принадлежности к различным социальным общностям — таким, как малая группа, класс, семья, территориальная общность, этнонациональная группа, народ, общественное движение, государство, человечество в целом…», феномен, который «возникает из диалектической взаимосвязи индивида и общества», выкристаллизовывается в индивидуальном сознании в процессе полиаспектных социокоммуникативных отношений [5, с. 282].

В статье «Кризис индивидуальной и коллективной идентичности» немецкий философ В. Хёсле рассматривает механизм формирования идентичности сквозь призму проблемы коммуникативно-диалогических отношений. По его мнению, принципиальное значение для прояснения сущности феномена человеческой идентичности, в том числе и его социально-коммуникативной природы, имеет понимание того, что существенной чертой идентичности является, по Канту, первоначальное синтетическое единство апперцепции. Имеется в виду, что субъектам свойственны ментальные состояния и априорная способность к осознанию любых отчётливых представлений в качестве собственных. В. Хёсле отмечает, что данный факт особенно интересен по отношению к мыслям индивида о себе самом, поскольку в этом случае человек одновременно выступает и как субъект, и как объект. В качестве субъекта философ рассматривает такую сторону личности, как «я», а в качестве объекта — самость [6, с. 23—24]. При этом В. Хёсле поясняет: «понять, что является принципом индивидуализации — „я" или самость — весьма нелегко… Чрезвычайно важно понять, что различие между „я" и самостью относительно. „Я" является наблюдающим началом, самость — наблюдаемым; „я" современного человека научилось наблюдать за его самостью и чувствами, как если бы те были чем-то отличными от „я", даже если это не предполагает, что самость освобождается от своих чувств. Однако „я" может также наблюдать за своей склонностью наблюдать, — и в этом случае то, что сначала было „я", становится самостью. И „я" может также отождествиться с самостью — то, что сначала было самостью, становится „я". Проблема идентичности в любом случае является проблемой отождествления, идентификации „я" и самости» [6, с. 24].

Обращаясь к вопросу социально-коммуникативной природы идентичности, следует отметить, что, согласно В. Хёсле, для успешной самоидентификации — благожелательного признания личностным «я» собственной самости — «я» должно обладать описательными и нормативными образами, которые сформировались в сознании человека не только по отношению к другим людям, но и к себе самому — своей самости. Таким образом, осмысленное, рациональное принятие самости личностным «я» требует гармоничного сочетания этих двух образов. Иными словами,

«я», выполняющее функцию оценивающего субъекта, должно характеризоваться наличием действительного знания о себе самом, иметь оценку нормативного образа собственной самости и представление о приемлемости своих действий и поступков, рассматриваемых с морально-этической точки зрения.

Очевидно, что нормативный образ собственной самости выкристаллизовывается в процессе конституирования ценностного сознания личности, а если быть точнее — в процессе коммуникативно-диалогического усвоения индивидом религиозных, эстетических, нравственных, политических ценностей той социальной общности, которой он принадлежит. В. Хёсле отмечает в этой связи, что для формирования разумного нормативного образа своей самости действия индивида, его оценки, мнения, суждения не должны вступать в противоречие с функционирующими универсальными нормами, всеобще разделяемыми социальными ценностями, поскольку любое их нарушение и игнорирование «делает идентичность самости паразитической, особенно в том случае, если я продолжаю ожидать от других людей уважения тех норм, которым больше не намерен следовать» [6, с. 25].

Знание о собственной самости, равно как и нормативный образ, складывается в процессе коммуникативного взаимодействия индивида с другими индивидами. Значительное влияние на идентичность оказывает воспринимаемое человеком собственное «социальное Я», представляющее собой, согласно концепции символического интеракционизма Дж. Мида, совокупность образов индивида, сформировавшихся у других людей. При этом В. Хёсле подчёркивает, что функция Другого в процессе самоидентификации личности не сводится только лишь к созданию «социального Я» и его привитию индивиду. Во-первых, важно понимание того, что человек может быть идентичен себе только в том случае, если обладает определённым набором индивидуальных характеристик, которые осознаются им как уникальные в процессе сравнения себя с Другим. Во-вторых, нельзя не принимать во внимание тот факт, что «полноценность» идентичности определяется признанием индивида другими людьми, которое происходит на основе общности присущих им ценностных ориентаций и интересов.

Таким образом, исследовательская позиция В. Хёсле, касающаяся социально-коммуникативной природы человеческой идентичности, в значительной степени пересекается с положениями концепций М. Бахтина и Дж. Мида, придерживавшихся мнения, что процессы личностного самоопределения, постижения и утверждения человеком своих индивидуальных характеристик реализуются посредством многоаспектных коммуникативных взаимодействий. Соответственно, «я» предстаёт в концепциях исследователей «как продукт взаимодействия индивида с другими людьми, как отклик на отношение ко мне других, как нечто возникающее в социальных коммуникативных отношениях» [7].

**Теоретико-методологические аспекты проблемы коллективной идентичности.** На целый ряд значимых функциональных характеристик социальной идентичности как феномена, формирующегося в процессе социально-коммуникативного взаимодействия, обращает внимание сербский исследователь Д. Степанович-Захариевская. Она отмечает, что основным регулятором общественной жизни являются коллективные ценности, усвоение которых воспринимается индивидом как один из знаков приобщения к определённой социальной группе. Сформировавшаяся коллективная идентичность, в свою очередь, создаёт предпосылку для реализации индивидом системы социальных ролей, то есть «подготавливает» человека к участию в общественных отношениях. Не менее важная функция коллективной идентичности заключается в том, что она является своего рода «фиксатором» «исторической памяти», благодаря чему члены сообщества в различные исторические периоды испытывают субъективное ощущение сопричастности к общей судьбе [8].

Анализ представленных точек зрения позволяет сделать вывод, что процесс формирования человеческой идентичности сопряжён с такими значимыми процессами социально-коммуникативной природы, как интернализация и конституирование ценностного сознания личности. Очевидно, что адекватная современной социокультурной ситуации социальная идентичность — идентичность, основанная на ценности диалога, — может сформироваться только как результат диалогического участия индивида в социальной жизни общества, осмысленного принятия им системы социальных ценностей, норм, идеалов, моделей поведения.

Значительный интерес представляет социально-философская концепция современного отечественного философа М. Хомякова, который считает, что на современном этапе исторического развития существенным интеграционным потенциалом обладает такой тип социальной идентичности, как гражданская идентичность, формирование которой предполагает развитие коммуникативно-диалогических отношений между субъектами многомерного социально-политического пространства и отказ от использования манипулятивных коммуникативных технологий. Отмечая повышенную конфликтогенность современного социума, М. Хомяков в качестве центральной задачи политической теории видит согласование «идей социальной солидарности, толерантности и групповой идентичности и построения на этой основе некоей модели общества, в которой данные идеи не препятствуют друг другу, но скорее друг друга дополняют и усиливают» [2]. Основная сложность решения данной проблемы заключается в «природной противоречивости» феноменов идентичности и толерантности. Речь идёт, прежде всего, о том, что процессы формирования идентичности и толерантности прямо противоположны друг другу. Механизм конституирования идентичности, представляющей собой синтез самотождественности и самости, предполагает перманентное отталкивание от Другого, толерантность же формируется путём временного «забвения» инаковости Другого, уважительного восприятия его субъектом толерантности как «равного» себе. Таким образом, толерантность несёт в себе скрытую угрозу для идентичности того объекта, на который она направлена. В свою очередь, стирание инаковости объекта толерантности, его нивелировка может иметь самые непредсказуемые и опасные для стабильного существования социума последствия. «Бунтом идентичности против толерантности» называет философ в этой связи международный и внутренний терроризм.

Однако, несмотря на имеющиеся противоречия, существуют весомые аргументы, говорящие в пользу симбиоза «идентичность — толерантность» как гаранта мирного сосуществования различных социокультурных групп, религий, наций в рамках современного социума. Ограничение толерантности в целях защиты национально-государственной идентичности в мультикультурном, многонациональном обществе, характеризующемся радикальным «плюрализмом ценностей», неминуемо приведёт к «некоей „кристаллизации" общественной среды, в которой не будет места вытесняемым на её границы, а потому потенциально криминальным меньшинствам» [2].

Кроме того, групповая идентичность является неотъемлемым конститутивным элементом индивидуальной идентичности. Следовательно, «индивид не может эффективно реализовать свою индивидуальную свободу (или, если угодно, свою автономию), если его идентичность как члена группы находится под угрозой. Индивид, в конце концов, никогда не есть только индивид, он — всегда и довольно существенным образом — член группы» [2]. И, наконец, интолерантность и конфликтность не являются перманентными качествами стабильной идентичности, а проявляются по большей части в кризисные периоды, сопровождающиеся, как правило, ломкой устоявшейся системы ценностей социума.

Проблема интеграции современного плюралистического поликультурного общества может быть решена путём формирования некоей общей для различных социокультурных групп идентичности, согласующейся с идеей толерантности. Речь идёт о максимально нейтральной в ценностном отношении гражданской идентичности, которая противопоставляется М. Хомяковым так на-

зываемым «ценностно нагруженным» идентичностям — национальной, государственной, культурной, религиозной и др. — в их способности консолидировать современный социум. Однако гражданская идентичность не должна рассматриваться исследователем как альтернатива названным групповым идентичностям, а напротив — выступать необходимым условием для их поддержания, «здорового» развития и, соответственно, сохранения всего культурно-национального многообразия российского социума.

Таким образом, толерантная гражданская идентичность должна быть основана на идее гражданства, переосмысливаться в соответствии с современной социокультурной ситуацией. В классических концептах гражданства либеральных и республиканских теоретиков, в частности в работах Руссо и Милля, идея гражданства во многом перекликается с идеями религиозной или национальной идентичности, которые, как было сказано ранее, могут препятствовать формированию толерантного сознания современного социума и не являются более основными консолидирующими силами в многонациональных, полиэтнических государствах. Адекватное современной эпохе понимание феномена гражданства мы находим у Д. Уэйнстока, который идею гражданства основывает на демократических принципах свободы, правовой защиты и автономии личности.

Исходя из положений концепции гражданства Д. Уэйнстока, в качестве обязательных условий для формирования гражданской идентичности могут рассматриваться следующие.

Во-первых, в условиях глобализации, характеризующейся интенсификацией миграционных процессов, процедура получения гражданского статуса должна быть максимально прозрачной, понятной и общедоступной. Во-вторых, формирование устойчивой гражданской идентичности у представителей национальных меньшинств требует официального утверждения определённого набора групповых прав (в зависимости от конкретного социально-политического контекста), реализация которых будет способствовать стабильному существованию этнических, культурных, религиозных и других групповых идентичностей. Таким образом, гражданский статус позволит представителям меньшинств воздействовать на общественную сферу, стать полноправными участниками публичного дискурса именно в роли носителей уникальных коллективных идентичностей. «Только в этом случае гражданская идентичность, — отмечает М. Хомяков, — будет восприниматься представителями „наружных" идентичностей как ресурс… Только в этом случае, следовательно, гражданская идентичность станет способствовать солидарности, интеграции и толерантности общества» [2]. В-третьих, идея гражданства и, соответственно, гражданской идентичности подразумевает создание в обществе условий для осуществления гражданами права автономии или самоуправления. Реализация данного права возможна посредством функционирования институтов гражданского общества и организации открытого публичного дискурса в процессе принятия важных политических и социально-экономических решений. Помимо этого, важным фактором развития устойчивой гражданской идентичности выступают базирующиеся на доверии и «гражданской дружбе» отношения в социальном мире.

Чувство принадлежности к социальной общности является в современном мире одним из основополагающих факторов стабилизации общественных отношений. При этом следует отметить, что коммуникативные механизмы формирования социальной идентичности в современной социокультурной ситуации не должны препятствовать автономии личности, реализации общечеловеческих и гражданских прав. В этом смысле связи с общественностью, учитывая их уникальные феноменологические и функциональные характеристики, могут рассматриваться, с нашей точки зрения, как один из наиболее эффективных коммуникативных инструментов формирования адекватной современной ситуации социальной идентичности.

Механизм реализации социальной интеграции обеспечивается рядом частных функций социальной коммуникации. Высокий консолидирующий потенциал социальной коммуникации в обществе обусловлен, прежде всего, такой её функцией, как социальная идентификация, реали-

зующейся через посредство частных функций, главным образом, функций социализации, интернализации, формирования ценностного, морально-нравственного сознания общества.

Для характеристики российского общества рубежа XX—XXI веков в практике научно-исследовательской деятельности используется термин «транзитивный социум», подчёркивающий его переходное состояние, связанное, прежде всего, с демократизацией общественно-политической жизни и со становлением институтов гражданского общества, с плюрализацией социокультурного пространства, изменением традиционных ценностных представлений россиян. При этом процессы модернизации реализуются в условиях глобализации и динамичного развития информационно-коммуникативных технологий, что оказывает существенное влияние на интенсивность и характер их протекания.

Исследователями отмечается, что одним из основных дезинтеграционных факторов в современном российском обществе является кризис социальной идентичности российских граждан, а именно таких её форм, как национально-культурная, историческая, политическая, гражданская. Сложившаяся ситуация актуализировала введение проблемы коллективной идентичности российского общества как важного условия социальной консолидации в круг наиболее острых проблем отечественного социально-философского дискурса. Однако при всей дискуссионности данного вопроса до сегодняшнего дня социально-философское осмысление коммуникативных механизмов формирования социальной идентичности российского общества не выдвигалось в качестве задачи отдельного научного исследования.

Высоким консолидирующим потенциалом в многонациональных, поликультурных, поликонфессиональных государствах, каковым является современный российский социум, обладает гражданская идентичность, выкристаллизовывающаяся в процессе коммуникативно-диалогического взаимодействия субъектов социально-политической сферы. Российский социолог Л. М. Дробижева отмечает, что в России начала XXI века, в период, когда миновала актуальная опасность сецессии и снизилась угроза сепаратизма, в число приоритетных проблем общества вошли борьба с терроризмом, ростом ксенофобии и экстремизма. Именно в этих новых условиях общественного развития особую актуальность приобрела задача формирования гражданской идентичности, гражданского сознания и поведения у россиян как важных стабилизирующих, интегрирующих факторов.

Необходимо отметить, что в российском социально-философском дискурсе представлены различные подходы к пониманию феномена гражданской идентичности. Отметим, прежде всего, те точки зрения, которые, на наш взгляд, отражают понимание авторами консолидирующей функции гражданской идентичности в современном российском обществе, независимо от того, какое смысловое содержание они вкладывают в это понятие. Значительный интерес представляет точка зрения, согласно которой гражданская идентичность понимается в западноевропейском смысле как сложный образно-смысловой конструкт коллективного самосознания, формирующийся на основе интернализации ценностей, идеалов и нормативных поведенческих моделей, присущих гражданскому обществу. В этой связи принципиально важно отметить, что, поскольку центральными идеями, на основе которых конституируется гражданское общество, выступают идеи демократии и суверенитета самоуправляющегося народа, гражданская идентичность определяет принадлежность индивидов и их групп к нации как совокупности общественно-политических сообществ, «консолидированных в рамках конституционного государства, имеющих политическую, договорную природу», то есть к гражданской нации [9, с. 12].

Ряд российских исследователей, в частности известный отечественный историк В. А. Тишков, придерживаются мнения, что гражданская идентичность включает в себя целый «комплекс компонентов индивидуального и коллективного самосознания, определяющих принадлежность к стране, её народу на основе общеразделяемых историко-культурных и духовных ценностей, на

основе чувства патриотизма и лояльности по отношению к Родине и государству» [10]. Совершенно очевидно, что в представленном подходе акцент сделан, главным образом, на государственный аспект гражданской идентичности, тогда как собственно гражданский компонент идентичности, основанный на интериоризированных коллективным сознанием ценностях и идеалах самоуправляющейся гражданской нации-государства, выносится за скобки. Следовательно, понятие гражданской идентичности в представленном смысле, как совершенно справедливо замечает Л. М. Дробижева, может быть заменено на более корректное в современном контексте понятие «государственной — российской — идентичности» [9, с. 13].

**Заключение.** В современных российских условиях, в условиях поликультурализации и плюрализации, демократизации, а также актуализированной руководством страны социально-экономической модернизации, гражданская и государственная идентичности должны органично дополнять друг друга в качестве доминирующих компонентов коллективной идентичности. Иными словами, общегражданская (общегосударственная) — общероссийская — идентичность, интегрирующая в себе гражданскую и государственные идентичности, может рассматриваться как актуальный для современной России тип коллективной идентичности, обеспечивающий достижение социальной солидарности независимо от национально-культурной, религиозной принадлежности российских граждан.

**Библиографический список**

1. Рикёр, П. Я-сам как другой / П. Рикёр. — Москва: Изд-во гуманитарной лит-ры, 2008. — 416 с.

2. Хомяков, М. Б. Идентичность, толерантность и идея гражданства [Электрон. ресурс] / М. Б. Хомяков. — Режим доступа: http://www.ecsocman.edu.ru/db/msg/289809/chast_1_teoreticheskie_problemy.pdf.htm.

3. Ядов, В. А. Социальные и социально-психологические механизмы формирования социальной идентичности личности [Электрон. ресурс] / В. А. Ядов // Мир России. — 1995. — № 3—4. — Режим доступа: http://www.isras.ru/files/file/publication/mir_rossii_1995_no3-4_yadov.pdf.

4. Эриксон, Э. Трагедия личности / Э. Эриксон. — Москва: Алгоритм: Эксмо, 2008. — 256 с.

5. Бергер, П. Л. Социальное конструирование реальности. Трактат по социологии знания / П. Бергер, Т. Лукман; пер. с англ. Е. Руткевич. — Москва: Медиум, 1995. — 323 с.

6. Апокалипсис смысла: сб. работ западных философов XX—XXI вв. / ред. О. Селин. — Москва: Алгоритм, 2007. — 272 с. — ISBN 978-5-9265-0427-6.

7. Лекторский, В. А. Знание о субъективности как социально-культурный феномен / В. А. Лекторский. — Режим доступа: http://www2.usu.ru/soc_phil/rus/texts/knowledge.html.

8. Степанович-Захариевская, Д. Актуальность исследования идентичности в условиях общественной трансформации на Балканах [Электрон. ресурс] / Д. Степанович-Захариевская // Социологические исследования. — 2008. — № 5. — Режим доступа: http://www.isras.ru/files/file/socis/2008-05/stepanovich.pdf.

9. Дробижева, Л. М. Государственная и этническая идентичность: выбор и подвижность / Л. М. Дробижева // Гражданские, этнические и религиозные идентичности в современной России / отв. ред. В. С. Магун. — Москва: Изд-во Ин-та социологии РАН, 2006. — С. 10—30.

10. Тишков, В. А. Актуальные вопросы нацполитики [Электрон. ресурс] / В. А. Тишков. — Режим доступа: http://www.penza.ru/society/relations/actual.

Материал поступил в редакцию 21.12.2011.

**References**

1. Rikyor, P. Ya-sam kak drugoj / P. Rikyor. — Moskva: Izd-vo gumanitarnoj lit-ry`, 2008. — 416 s. — In Russian.

2. Xomyakov, M. B. Identichnost`, tolerantnost` i ideya grazhdanstva [E`lektron. resurs] / M. B. Xomyakov. — Rezhim dostupa: http://www.ecsocman.edu.ru/db/msg/289809/chast_1_teoreticheskie_problemy.pdf.htm. — In Russian.

3. Yadov, V. A. Social`ny`e i social`no-psixologicheskie mexanizmy` formirovaniya social`noj identichnosti lichnosti [E`lektron. resurs] / V. A. Yadov // Mir Rossii. — 1995. — # 3—4. — Rezhim dostupa: http://www.isras.ru/files/file/publication/mir_rossii_1995_no3-4_yadov.pdf. — In Russian.

4. E`rikson, E`. Tragediya lichnosti / E`. E`rikson. — Moskva: Algoritm: E`ksmo, 2008. — 256 s. — In Russian.

5. Berger, P. L. Social`noe konstruirovanie real`nosti. Traktat po sociologii znaniya / P. Berger, T. Lukman; per. s angl. E. Rutkevich. — Moskva: Medium, 1995. — 323 s. — In Russian.

6. Apokalipsis smy`sla: sb. rabot zapadny`x filosofov XX—XXI vv. / red. O. Selin. — Moskva: Algoritm, 2007. — 272 s. — ISBN 978-5-9265-0427-6. — In Russian.

7. Lektorskij, V. A. Znanie o sub``ektivnosti kak social`no-kul`turny`j fenomen / V. A. Lektorskij. — Rezhim dostupa: http://www2.usu.ru/soc_phil/rus/texts/knowledge.html. — In Russian.

8. Stepanovich-Zaxarievskaya, D. Aktual`nost` issledovaniya identichnosti v usloviyax obshhestvennoj transformacii na Balkanax [E`lektron. resurs] / D. Stepanovich-Zaxarievskaya // Sociologicheskie issledovaniya. — 2008. — # 5. — Rezhim dostupa: http://www.isras.ru/files/file/socis/2008-05/stepanovich.pdf. — In Russian.

9. Drobizheva, L. M. Gosudarstvennaya i e`tnicheskaya identichnost`: vy`bor i podvizhnost` / L. M. Drobizheva // Grazhdanskie, e`tnicheskie i religiozny`e identichnosti v sovremennoj Rossii / otv. red. V. S. Magun. — Moskva: Izd-vo In-ta sociologii RAN, 2006. — S. 10—30. — In Russian.

10. Tishkov, V. A. Aktual`ny`e voprosy` naczpolitiki [E`lektron. resurs] / V. A. Tishkov. — Rezhim dostupa: http://www.penza.ru/society/relations/actual. — In Russian.

## INDIVIDUAL AND COLLECTIVE IDENTITY IN CONTEMPORARY RUSSIAN SOCIETY: ON METHODOLOGICAL PROBLEM OF SOCIOCOMMUNICATIVE ANALYSIS

**O. V. Druzhba**
(Don State Technical University),
**S. V. Rezvanov**
(Rostov State Construction University)

*The questions of the formation of the theoretical and methodological basis for researching problems of individual and collective identity through the prism of sociocommunicative processes are considered. It is shown that the formation of human identity is attended with such processes of sociocommunicative nature as internalization and institutionalization of the axiological consciousness of the society.*
***Keywords:*** *personal identity, collective identity, sociocommunicative processes of contemporary Russian society.*

УДК 101.1:316.3

# Общество как саморазвивающаяся система: возможности применения системного и синергетического подходов к исследованию социальной реальности

**И. В. Лысак**
(Таганрогский технологический институт Южного федерального университета),
**Н. И. Басина**
(Донской государственный технический университет)

*Проанализированы возможности применения системного и синергетического подходов к исследованию общества. Рассмотрены понятия и принципы системной и синергетической методологических концепций, а также модели общества Т. Парсонса, Н. Лумана, А. Давыдова. Общество охарактеризовано как определённый тип саморазвивающейся системы, выявлены его свойства и механизмы функционирования.*
***Ключевые слова:*** *общество, система, системный подход, синергетика, саморазвивающаяся система.*

**Введение.** Системный подход давно применяется в различных областях знания с большей или меньшей степенью успешности, а представление об обществе как системе вошло в словари и учебники и, казалось бы, перестало быть актуальной проблемой научного исследования. Констатация эвристической значимости системного подхода и необходимости его использования превратилась в своего рода клише, с которым не поспоришь. Однако в социально-философских исследованиях его применение зачастую ограничивается простым упоминанием в разделе, посвящённом методологии. Это обусловлено непониманием сущности системного подхода, сведением смысла понятия «система» к простому переводу древнегреческого σύστημα — целое, составленное из частей. Исходя из такой трактовки «системности», достаточно выделить в исследуемом объекте составные части — и системный подход применён. Такая примитивизация системного подхода, присущая в том числе и ряду диссертационных исследований по социальной философии [1, 2], заставляет ещё раз обратиться к анализу его специфики и выявлению основных характеристик общества как саморазвивающейся системы.

**Системный подход: история становления.** Истоки системного подхода уходят в глубокую древность, однако его чёткое оформление в качестве самостоятельной методологической концепции начинается со второй половины XX века и связано со становлением науки о системах (Systems Science), основой которой является междисциплинарная научная теория, получившая название «общая теория систем». Автором упомянутой теории считается австрийско-американский биолог Л. фон Берталанфи, выводивший появление системного мышления из биологии и предложивший распространить системный подход на механические, электронные, экономические, социальные и политические процессы. По мнению Л. фон Берталанфи, «социальные явления должны рассматриваться как „системы“» [3]. В 60—70 гг. XX в. было чётко определено само понятие «система» и выработаны основные принципы системного подхода к исследованию объектов окружающего мира. Под системой в самом общем виде понимается «множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, образующих определённую целостность, единство» [4]. Следует обратить особое внимание на то, что ключевое значение для понимания сущности системы имеет не словосочетание «множество элементов», а понятие «целостность». При этом целостность трактуется как «принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих её элементов и невыводимость из свойств последних целого; зависимость каждого элемента, свойства и отношения в системе от его места, функции и т. д. внутри целого» [4]. Су-

щественными свойствами системы являются также структурность и иерархичность. Каждая система может быть представлена в виде чёткой модели, в которой наглядно показаны не только входящие в неё подсистемы и элементы, но и обозначены связи и отношения между ними. Кроме того, любая система уже по определению является многоуровневой — каждый из её структурных элементов также может быть рассмотрен в качестве системы.

Сложность, с позиции системного подхода, означает не только наличие существенного количества элементов и подсистем, но и то, что элементы обладают большим числом степеней свободы. И, как справедливо отмечает известный немецкий философ К. Майнцер, «поведение отдельных элементов в сложных системах с огромным числом степеней свободы не может быть ни предсказано, ни прослежено в прошлом. Детерминистическое описание отдельных элементов может быть заменено эволюцией распределений вероятности» [5]. Сложные системы — организмы, личности, общества — обладают и такой важной особенностью, как способность накапливать и передавать информацию. В них могут возникать процессы самоуправления и самоорганизации, они обладают значительной устойчивостью и способны противостоять разрушительному воздействию извне.

Указанные свойства систем обязательно должны учитываться исследователями при их анализе. В отечественной науке принципы системного подхода как методологии познания были разработаны, в частности, известным философом Э. Г. Юдиным. Многие из сформулированных им в 60—70 гг. XX в. положений не утратили своей актуальности и поныне и могут быть успешно применены к анализу общества. В своих работах Э. Г. Юдин обосновывал, что при анализе системы особое внимание следует уделять изучению связей, присущих ей, а также исследованию её структуры и организации. Исследователь выделяет следующие типы связей: связи взаимодействия (их спецификой в социуме является опосредованность целями, которые преследует каждая из сторон взаимодействия); связи порождения, когда один объект выступает как основание, вызывающее к жизни другой; связи преобразования; связи функционирования, обеспечивающие реальную жизнедеятельность объекта, и др. Особое место в системе, по мнению Э. Г. Юдина, занимают так называемые системообразующие связи, в частности связи управления, исследованию которых в его работах уделяется особое внимание. Существенной проблемой при проведении системных исследований, подмеченной Э. Г. Юдиным, является отсутствие чётких критериев, позволяющих разграничить связи и отношения [6]. В полной мере эта проблема не решена до сегодняшнего дня.

Итак, применение системного подхода к исследованию предполагает установление состава, структуры и организации элементов и более крупных частей системы, именуемых подсистемами, а также обнаружение основных взаимодействий между ними; выявление внешних связей системы и определение основных из них; определение функций системы; обнаружение закономерностей и тенденций их развития.

Системный подход успешно применялся и применяется к исследованию многих областей действительности, в том числе и к исследованию социальных процессов, однако в последние десятилетия XX века он часто подвергался критике. В частности негативно оценивался присущий системному подходу детерминизм, нацеленность на выявление жёстких причинно-следственных связей. Преодолеть этот недостаток в определённой мере позволило становление и развитие синергетики.

**Синергетика как разновидность системного подхода.** Предметом изучения синергетики (от греч. συνεργος — совместно действующий) как междисциплинарного научного направления являются, как известно, сложные системы, способные к самоорганизации. Основатель синергетики немецкий физик Г. Хакен подчёркивал, что сложность системы заключается не только и не столько в том, что она состоит из большого числа частей, а в том, что ей присуща сложность поведе-

ния [7]. По мнению исследователя, важнейшей характеристикой сложных систем является их способность к самоорганизации, т. е. к спонтанному образованию «высокоупорядоченных структур из зародышей или даже из хаоса» [8], к спонтанному переходу от неупорядоченного состояния к упорядоченному за счёт совместного, кооперативного действия многих подсистем.

Неоценим вклад в развитие синергетики бельгийско-американского физика и химика российского происхождения, лауреата Нобелевской премии по химии 1977 г. И. Р. Пригожина, показавшего на основе своих открытий в области неравновесной термодинамики, что в неравновесных открытых системах возможны эффекты, приводящие не к возрастанию энтропии, то есть неупорядоченности строения системы, а к «самопроизвольному» возникновению упорядоченных структур, к рождению порядка из хаоса [9].

Современная синергетика изучает когерентное состояние процессов самоорганизации в сложных системах различной природы. Она применима и к анализу социальных систем, однако следует отметить, что чрезмерная «увлечённость» синергетикой, своеобразная «мода» на неё в 90-е гг. XX в. привела к тому, что в ряде исследований синергетические принципы упоминались не всегда к месту, вызывая обоснованную критику. Это, тем не менее, не уменьшает эвристический потенциал синергетики как методологии. Как справедливо отметил В. Г. Буданов, «можно огорчаться по поводу моды на синергетику и её вольного толкования… Мода, конечно, пройдёт, но в основания культуры будут заложены принципы и язык синергетики, а время рассеет миражи непонимания» [10].

Важно подчеркнуть, что применение синергетических принципов оправдано в том случае, если объект исследования представляет собой сложную, саморазвивающуюся систему, рассматриваемую в динамике. Академик В. С. Стёпин, говоря о сфере применения синергетики, отметил, что «она избыточна по отношению к тем задачам, в которых можно абстрагироваться от развития системы и фазовых переходов… Она делает акцент на идеях целостности, сложности в противовес идеям элементаризма и редукционизма… Акцентируя холистские аспекты, синергетика раскрывает ряд существенных закономерностей саморазвивающихся систем. В этом её достоинство, но в этом и её границы» [11].

Исследователи, выбирающие синергетический подход в качестве базовой методологии, должны учитывать, что далеко не все системы являются саморазвивающимися. Существующие системы можно условно подразделить на три основных вида: простые (механические), сложные саморегулирующиеся и сложные саморазвивающиеся. В простых системах элементы внутри целого и вне его характеризуются одними и теми же свойствами, целое может быть описано свойствами частей и их взаимодействиями, существуют жёсткие причинно-следственные связи. Сложные саморегулирующиеся системы имеют уровневую организацию, включают в состав подсистемы со стохастическими взаимодействиями элементов и информационно-управляющий блок, передающий информацию от него к подсистемам и принимающий информацию, поступающую от них. Именно механизм обратной связи важен для понимания специфики таких систем. Их свойства уже не могут быть сведены к свойствам составляющих их частей, причинность в них приобретает вероятностный характер. Исследованием таких систем занимается кибернетика. Сложные саморазвивающиеся системы отличаются более сложной многоуровневой организацией. Такие системы являются открытыми и нелинейными. Открытость системы означает, что между ней и окружающей средой постоянно происходит обмен энергией, веществом, информацией, а поэтому для такой системы характерна постоянная изменчивость, стохастичность [12]. Нелинейность системы выражается в том, что одни и те же изменения вызывают разные следствия. Саморазвивающиеся системы находятся в неравновесном состоянии — состоянии нестабильности, они состоят из множества элементов и подсистем, взаимодействие между которыми может быть подвержено лишь малым флуктуациям, т. е. незначительным случайным изменениям. Существование такой системы

есть динамическое состояние, процессирующее тождество сохранения изменения, причём процессуальность выступает не только как воспроизводство определённых качественных состояний, но и как переход от одного качества к другому [13].

Саморазвивающимся системам присуща многоуровневая организация элементов, появление по мере развития новых уровней, приводящее к выделению новых подсистем. Причём каждый вновь возникающий уровень системы оказывает обратное воздействие на сформировавшиеся ранее уровни, видоизменяет их. Появление новых уровней организации происходит через состояние динамического хаоса, возникновение точек бифуркации, в каждой из которых возникает спектр потенциально возможных направлений развития системы. Важно учитывать и то, что в точках бифуркации принципиально невозможно предсказать, в каком направлении будет происходить дальнейшее развитие системы: станет ли её состояние ещё более хаотическим, или она перейдёт на новый, более высокий уровень организации.

Саморазвитие тесно связано с переосмыслением роли хаоса, являющегося, по сути, его источником. Именно хаос необходим для того, чтобы система вышла на аттрактор, на иной режим развития, он способен инициировать процесс самодостраивания [14]. Причинность в саморазвивающихся системах носит циклический характер. Синергетическая парадигма показывает, что не только причина вызывает и порождает действие, но и действие может оказывать влияние на породившую его причину. Поведение компонентов саморазвивающейся системы подчиняется и управляется параметрами порядка, в то же время сами параметры порядка возникают в результате взаимодействия компонентов системы.

Указанные основные характеристики саморазвивающихся систем и синергетические принципы необходимо учитывать при анализе как общества в целом, так и отдельных социальных процессов.

**Общество с позиций системного и синергетического подходов.** Представление об обществе как совокупности взаимосвязанных элементов, как целом, состоящем из частей, т. е. как «системе» в буквальном смысле слова, сформировалось достаточно давно. Однако становление общей теории систем и синергетики во второй половине XX века позволило сформировать чёткие системные модели общества. Наиболее известными из них являются, в частности, структурно-функциональная концепция американского философа и социолога-теоретика Т. Парсонса и теория общества как самореферентной коммуникативной системы немецкого исследователя Н. Лумана. Т. Парсонс характеризует общество как систему со сложной структурой, каждый из элементов которой выполняет определённые функции и находится в состоянии активного взаимодействия, опосредуемого системой ценностей, с другими элементами. Важнейшими свойствами общества как системы он считал самоорганизацию и способность возвращать себе нарушенное равновесие [15]. Т. Парсонсу свойственна определённая абсолютизация нормативной структуры общества, структурированного нормативного порядка, посредством которого организуется коллективная жизнь. Уделяя большое внимание механизмам социального контроля или «механизмам восстановления равновесия» общества как системы, Т. Парсонс практически не рассматривает механизмы саморазвития, причины социальной динамики. С его точки зрения, общество как система стремится к сохранению стабильного состояния.

По Н. Луману, системой является всё, что способно к аутопойезису (др.-греч. αὐτός — сам, ποίησις — сотворение, производство), т. е. является самодостаточным и способно воспроизводить себя само, отличая себя от окружения. Общество рассматривается им как самореферентная социальная система, умеющая организовать саму себя, способная существовать и воспроизводить себя, обращаясь только к собственным операциям, без выхода вовне. Основной признак общества, по Н. Луману, — наличие в нём коммуникации, которая означает установление связи и взаимодействия между людьми. Аутопойезис общества представляет собой способ процессирования

смысловых структур посредством коммуникации. Именно посредством смысловой коммуникации, по его мнению, происходит воспроизводство социума.

Однако, уделяя много внимания анализу связей и отношений внутри системы, исследователь принципиально отказывается от исследования связи системы с окружением. Н. Луман пишет: «Общество есть коммуникативно-закрытая система. Оно производит коммуникацию посредством коммуникации. Коммуницировать может только оно само — но не с самим собой и не своим окружающим миром» [16, с. 223]. Хотя, говоря о закрытости системы, Н. Луман имеет в виду, прежде всего, её оперативную закрытость, его концепция противостоит господствующим в теории систем представлениям об открытости системы и её обмене информацией, веществом и энергией с окружением. Исследователь не рассматривает внешние связи общества — с биосферой и геосферой, без которых оно не сможет существовать. Выживание общества, его устойчивое и достойное существование в стратегической перспективе может осуществиться лишь при внимательном анализе его внешних связей, зависимости общества от природы.

В отечественной науке системный подход к исследованию общества активно разрабатывает доктор философских наук А. А. Давыдов. Он рассматривает общество в качестве определённого типа системы, «состоящей из разнородных взаимосвязанных элементов и подсистем, свойств и отношений, созданной индивидами на основе механизма обратной связи, целью которой является реализация экстремальных принципов в жизнедеятельности индивидов с помощью законов, действующих в определённых границах» [17]. С его точки зрения, общество принадлежит к так называемым нуклеарным системам, в которых существует координационный центр и нелинейная согласованность функционирования подсистем и элементов. Общество функционирует в специфическом системном состоянии «промежуточности» между порядком и хаосом, вследствие чего для него характерны свойство самоорганизованной критичности и режим детерминированного хаоса. Свойство самоорганизованной критичности проявляется в том, что незначительное влияние каких-либо внутренних и (или) внешних факторов может привести к реакции лавинообразного типа, которая может оказывать влияние на все элементы и подсистемы общества. Для режима детерминированного хаоса характерны нестационарная структура динамики, наличие глобальной квазипериодичности в динамике, фрактальность (самоподобие) локальных фрагментов динамики на разных временных масштабах.

В своих работах А. А. Давыдов пытается выделить основные свойства общества, механизмы его функционирования и законы, действующие в нём. Все они не бесспорны, однако сама попытка их выделения, безусловно, заслуживает одобрения и свидетельствует о подлинно научном подходе к исследованию социальной реальности. Исследователь выделяет общесистемные и предметные свойства общества. К общесистемным он относит свойство целостности, под которым понимается выделенность системы из более общей системы, эффект неаддитивности (целое не равно сумме частей), зависимость каждого элемента от его места и функций внутри системы и др. Предметными свойствами являются субъективная самоидентификация индивидов с конкретным обществом, наибольшая численность трудоспособного населения, занятая в какой-либо отрасли хозяйства, свойство политического режима, свойство доминирующей религии и т. д.

Основным механизмом функционирования общества, по А. А. Давыдову, является общесистемный механизм обратной связи, согласно которому общество является результатом взаимодействия индивидов и оказывает обратное влияние на это взаимодействие. Основной целью общества, с точки зрения исследователя, является реализация экстремальных принципов, т. е. максимизация и (или) минимизация численности элементов, значений, свойств и отношений в системе [17]. К числу таких принципов он относит принцип гедонизма, согласно которому люди стремятся максимизировать положительные эмоции и минимизировать отрицательные; принцип максимина — максимум достижений при минимуме затрат, риска, времени; стремление максимизиро-

вать положительные социальные явления и минимизировать явления отрицательные в рамках определённых ограничений за счёт изменения элементов, связей, свойств и отношений в обществе.

Одной из задач философского познания общества является выявление действующих в нём законов. Это наиболее сложная задача, которую А. А. Давыдову удаётся решить лишь частично. Одним из общесистемных законов, по его мнению, является гиперболический характер роста населения на Земле, приводящий к глобальному ускорению мирового развития. К законам общественного развития автор относит в том числе и юридические законы, формирование которых является, с точки зрения исследователя, следствием самоорганизации общества. Однако не следует забывать, что юридические законы и моральные нормы носят конвенциональный характер и не могут быть отнесены к научным законам.

Несмотря на ряд спорных моментов, концепция саморазвивающегося общества А. А. Давыдова обладает значительным эвристическим потенциалом и может успешно применяться в социальной философии и социологии. Она позволяет не только теоретически анализировать общество, но и выдвигать плодотворные эмпирически проверяемые гипотезы и решать практические задачи.

**Заключение.** Таким образом, только критически осмысленное применение системного и синергетического подходов к исследованию как общества в целом, так и отдельных социальных явлений и процессов позволяет решать задачи, стоящие перед современной социальной философией. Системные концепции, разработанные Т. Парсонсом, Н. Луманом, А. А. Давыдовым, успешно применяются в социальной философии и социологии, однако построение целостной модели общества как саморазвивающейся системы является делом будущего. Представление об обществе как саморазвивающейся системе позволит анализировать социальные объекты как целостные, многоуровневые и динамичные, проследить взаимное влияние различных элементов и уровней системы, учитывать влияния окружающей природной среды на развитие социума, исследовать влияние его прошлого на сегодняшнее состояние и эффективно прогнозировать будущее.

**Библиографический список**

1. Бобков, П. М. Концепция будущего на проблемном поле социальной философии: автореф. дис. … канд. филос. наук / П. М. Бобков. — Москва, 2008. — 24 с.

2. Надькин, В. Б. Становление и развитие самоуправления в условиях трансформации российского общества: автореф. дис. … канд. филос. наук / В. Б. Надькин. — Якутск, 2007. — 27 с.

3. Берталанфи, Л. фон. Общая теория систем — обзор проблем и результатов / Л. фон Берталанфи // Системные исследования. — Москва: Наука, 1969. — С. 33.

4. Универсальный энциклопедический словарь. — Москва: Большая Российская энциклопедия, 2002. — С. 1181.

5. Майнцер, К. Сложность и самоорганизация. Возникновение новой науки и культуры на рубеже века / К. Майнцер // Синергетическая парадигма: многообразие поисков и подходов. — Москва: Прогресс-Традиция, 2000. — С. 59.

6. Юдин, Э. Г. Системный подход и принцип деятельности: методологические проблемы современной науки / Э. Г. Юдин. — Москва: Наука, 1978. — С. 134—135, 188—190.

7. Хакен, Г. Информация и самоорганизация: макроскопический подход к сложным явлениям / Г. Хакен. — Москва: Мир, 1991. — 240 с.

8. Хакен, Г. Синергетика / Г. Хакен. — Москва: Мир, 1980. — С. 14.

9. Пригожин, И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. — Москва: Прогресс, 1986. — 432 с.

10. Буданов, В. Г. Синергетические механизмы роста научного знания и культура / В. Г. Буданов // Философия науки. Вып. 2: Гносеологические и методологические проблемы. — Москва: ИФ РАН, 1996. — С. 198.

11. Синергетика: проблемы, перспективы, трудности (материалы круглого стола) / В. А. Лекторский [и др.] // Вопросы философии. — 2006. — № 9. — С. 3—33.

12. Князева, Е. Н. Синергетика как новое мировидение: диалог с И. Пригожиным / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов // Вопросы философии. — 1992. — № 12. — С. 8.

13. Стёпин, В. С. О философских основаниях синергетики / В. С. Стёпин // Синергетическая парадигма. Синергетика образования. — Москва: Прогресс-Традиция, 2007. — С. 97—102.

14. Князева, Е. Н. Интуиция как самодостраивание / Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов // Вопросы философии. — 1994. — № 2. — С. 112.

15. Парсонс, Т. О социальных системах / Т. Парсонс. — Москва: Академический Проект, 2002. — 832 с.

16. Луман, Н. Теория общества (вариант San Foca '89) / Н. Луман // Теория общества. Сборник: пер. с нем., англ. / вступ. статья, сост. и общая ред. А. Ф. Филиппова. — Москва: Канон-Пресс-Ц, Кучково поле, 1999. — С. 196—235. — (LOGICA SOCIALIS). — ISBN 5-93354-001-3.

17. Давыдов, А. А. К вопросу об определении понятия «общество» / А. А. Давыдов // Социологические исследования. — 2004. — № 2. — С. 12—24.

Материал поступил в редакцию 21.12.2011.

**References**

1. Bobkov, P. M. Koncepciya budushhego na problemnom pole social`noj filosofii: avtoref. dis. … kand. filos. nauk / P. M. Bobkov. — Moskva, 2008. — 24 s. — In Russian.

2. Nad`kin, V. B. Stanovlenie i razvitie samoupravleniya v usloviyax transformacii rossijskogo obshhestva: avtoref. dis. … kand. filos. nauk / V. B. Nad`kin. — Yakutsk, 2007. — 27 s. — In Russian.

3. Bertalanfi, L. fon. Obshhaya teoriya sistem — obzor problem i rezul`tatov / L. fon Bertalanfi // Sistemny`e issledovaniya. — Moskva: Nauka, 1969. — S. 33. — In Russian.

4. Universal`ny`j e`nciklopedicheskij slovar`. — Moskva: Bol`shaya Rossijskaya e`nciklopediya, 2002. — S. 1181. — In Russian.

5. Majncer, K. Slozhnost` i samoorganizaciya. Vozniknovenie novoj nauki i kul`tury` na rubezhe veka / K. Majncer // Sinergeticheskaya paradigma: mnogoobrazie poiskov i podxodov. — Moskva: Progress-Tradiciya, 2000. — S. 59. — In Russian.

6. Yudin, E`. G. Sistemny`j podxod i princip deyatel`nosti: metodologicheskie problemy` sovremennoj nauki / E`. G. Yudin. — Moskva: Nauka, 1978. — S. 134—135, 188—190. — In Russian.

7. Xaken, G. Informaciya i samoorganizaciya: makroskopicheskij podxod k slozhny`m yavleniyam / G. Xaken. — Moskva: Mir, 1991. — 240 s. — In Russian.

8. Xaken, G. Sinergetika / G. Xaken. — Moskva: Mir, 1980. — S. 14. — In Russian.

9. Prigozhin, I. Poryadok iz xaosa: novy`j dialog cheloveka s prirodoj / I. Prigozhin, I. Stengers. — Moskva: Progress, 1986. — 432 s. — In Russian.

10. Budanov, V. G. Sinergeticheskie mexanizmy` rosta nauchnogo znaniya i kul`tura / V. G. Budanov // Filosofiya nauki. Vy`p. 2: Gnoseologicheskie i metodologicheskie problemy`. — Moskva: IF RAN, 1996. — S. 198. — In Russian.

11. Sinergetika: problemy`, perspektivy`, trudnosti (materialy` kruglogo stola) / V. A. Lektorskij [i dr.] // Voprosy` filosofii. — 2006. — # 9. — S. 3—33. — In Russian.

12. Knyazeva, E. N. Sinergetika kak novoe mirovidenie: dialog s I. Prigozhiny`m / E. N. Knyazeva, S. P. Kurdyumov // Voprosy` filosofii. — 1992. — # 12. — S. 8. — In Russian.

13. Styopin, V. S. O filosofskix osnovaniyax sinergetiki / V. S. Styopin // Sinergeticheskaya paradigma. Sinergetika obrazovaniya. — Moskva: Progress-Tradiciya, 2007. — S. 97—102. — In Russian.

14. Knyazeva, E. N. Intuiciya kak samodostraivanie / E. N. Knyazeva, S. P. Kurdyumov // Voprosy` filosofii. — 1994. — # 2. — S. 112. — In Russian.

15. Parsons, T. O social`ny`x sistemax / T. Parsons. — Moskva: Akademicheskij Proekt, 2002. — 832 s. — In Russian.

16. Luman, N. Teoriya obshhestva (variant San Foca '89) / N. Luman // Teoriya obshhestva. Sbornik: per. s nem., angl. / vstup. stat`ya, sost. i obshhaya red. A. F. Filippova. — Moskva: Kanon-Press-Cz, Kuchkovo pole, 1999. — S. 196—235. — (LOGICA SOCIALIS). — ISBN 5-93354-001-3. — In Russian.

17. Davy`dov, A. A. K voprosu ob opredelenii ponyatiya «obshhestvo» / A. A. Davy`dov // Sociologicheskie issledovaniya. — 2004. — # 2. — S. 12—24. — In Russian.

## SOCIETY AS EVOLUTIONARY SYSTEM: APPLICATION OF SYSTEM AND SYNERGETIC APPROACHES TO SOCIAL REALITY STUDY

**I. V. Lysak**
(Taganrog Technological Institute, Southern Federal University),
**N. I. Basina**
(Don State Technical University)

*The possibilities of using the system and synergistic approaches to research society are analyzed. The concepts and principles of the system and synergetic methodological conceptions, and social models by T. Parsons, N. Luhmann, A. Davydov are considered. Society is described as a certain type of evolutionary system. Its properties and mechanisms of functioning are discovered.*
***Keywords:*** *society, system, system approach, synergetics, evolutionary system.*

УДК 159.922

# Социально-философский анализ правовой социализации личности

**Л. Д. Столяренко**
(Ростовский государственный экономический университет),
**А. Б. Тазаян**
(Донской государственный технический университет),
**В. Г. Тахтамышев**
(Ростовского государственного университета путей сообщения),
**Д. В. Столяренко**
(Новочеркасская государственная мелиоративная академия)

*Проведён социально-философский анализ развития идеи права и правовой социализации в истории философской мысли. Кроме того, выявлены негативные особенности правовой социализации в современном российском обществе.*
***Ключевые слова:*** *правовая социализация, право как форма социального бытия, идея права, социальность, внешние и внутренние (индивидные) формы социальности.*

**Введение.** Рассмотрение правовой социализации не может быть ограничено правовым или социологическим анализом. Необходим социально-философский анализ становления идей правовой социализации в истории мировой философии, отечественной и современной российской социальной философии, осмысление целей, характера, направленности, сущности правовой социализации личности в современном российском обществе как процесса вхождения личности в правовое пространство и как формы воспроизводства её социальности.

**Развитие идеи права и правовой социализации в истории философской мысли.** Социально-философский аспект исследования феномена социализации личности предполагает его соотнесение с социальным целым, выяснение его сущности и форм, выделение необходимых связей и зависимостей. Под социализацией понимают «процесс развития социальной природы человека» (Ф. Гиддингс), его социальности. Социальность человека, согласно философам античности, понималась как культурно активное начало: человек — творец культуры, добра, активный гражданин (Платон, Аристотель). Социализация выступает у античных мыслителей как продукт этической природы человека.

Христианская культура породила два основных гносеологических параметра социализации личности — устремление человеческого существования к Богу и достижение единства интересов общества и человека через христианскую нравственность. Для Ренессанса процесс социализации — это путь формирования целерационального индивида, осмысливающего себя автономным микрокосмом, безграничным в своей самореализации и в творчестве. Идея социализации, выработанная Новым Временем, указала на приоритет общественного, гражданского, универсального, общего (а не индивидуального, уникального, особенного) и оказалась неразрывно сопряжённой с «чистой» социальностью и возможностью рациональным образом изменять поведение личности.

В ходе социальной эволюции менялись формы социализации, роль права в жизни общества, теоретические подходы к пониманию права и правовой социализации. Проблему связи личности и права социальная философия рассматривает в контексте феномена правового социума, который выступает в качестве доминанты социального порядка, включает позитивное право в систему социума, выявляет внешние и внутренние регуляторы функционирования. Право как объективно существующее явление формирует свою, правовую реальность, в которой оно существует, развивается и реализуется. Правовая реальность состоит из отдельных, но в то же время диалек-

тически взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов — форм бытия права: включают в себя мир идей, мир знаковых форм, правовую жизнь [1, с. 225]. Идея права — это предельно общее и абстрактное выражение сущности права на определённом историческом этапе его существования, этапе развития социума как носителя права. Идея права отражает цель правовой регуляции и согласно своей основной задаче утверждает необходимость преобразования тех или иных общественных отношений, закрепляет и определяет те или иные ценности, детерминирует характер правовой социализации. С социально-философской позиции можно выделить ряд основных подходов к пониманию права и правовой социализации.

1. Многие религиозные мыслители рассматривали право как дарованное Богом искусство добра и справедливости, и правовая социализация выступала как безоговорочное подчинение и усвоение людьми божественных заповедей и законов.

2. Идея права как инструмента подавления зла в людях уходит корнями в древность [2, с. 18], является единой для Востока и Запада, но под носителями зла в этих культурах понимаются разные субъекты. На Востоке носителями зла, которое должно искореняться правом, считались обычные люди, в отличие от правителей, в задачу которых входило искоренение зла в людях посредством законов. На Западе со времён классической античности носителями зла называли самих правителей. Народ должен посредством законов сдерживать и подавлять зло в своих правителях, чтобы они вели общество к процветанию. Позже право также трактуется у Гоббса как принудительная сила, обуздывающая человеческие страсти. Правовая социализация понимается как процесс искоренения зла, подавления страстей людей и правителей в целях процветания общества.

3. Теория естественного права (в трудах Г. Гроция, Дж. Локка, Ж.-Ж. Руссо, А. Н. Радищева и др.) утверждает, что государство возникает в результате заключения общественного договора между людьми, а право выступает как механизм согласия людей. Ж.-Ж. Руссо подчёркивал: «Закон существует всего лишь для того человека, который либо сам его создал, либо же согласился с ним. Для любого другого человека это не закон, а заповедь или приказ». Поэтому законы требуют согласия всех, притом согласия, которое было бы обоснованно. В работах Дж. Локка, Р. Декарта, Г. Гроция утверждается, что право является основой общественной жизни, правовые нормы понимаются как наделённость человека разумом, а от их соблюдения зависит рациональная направленность социальной действительности. Концепция естественного закона полагает, что система права является практическим средством достижения социальных целей. Право трактуется как способность человека к цивилизованному общению и согласию (Дж. Локк), утверждается взгляд на право как форму социального бытия людей. Сущность права заключена в присущей ему функции упорядочения человеческого общежития. Рассуждения о человеческой природе связывают право с двумя врождёнными потребностями: самосохранением и социальностью (С. Пуфендорф), подчёркивают обязательность права для возможности становления социальных отношений.

4. Философия права как самостоятельная дисциплина формируется в XVIII веке, что связано со становлением концепции индивида и пониманием права как меры цивилизованности человека. Право рассматривается как средство осуществления социальных функций (солидаризм) и как средство формирования социального человека, соответствующего требованиям и законам общества. Право, правовая культура — историческое достижение цивилизации в области соционормативной регуляции жизнедеятельности общества. Правовая социализация понимается как объективированная, предопределённая по отношению к обществу и индивиду, как закономерность общественного развития.

5. Право как долженствование обосновано И. Кантом в его труде «Учение о праве». В правовых нормах заявлено, как человек должен поступать. Категорический императив, формулируемый Кантом, есть определение должного как нравственного идеала. Человек способен руко-

водствоваться в своих поступках нравственным законом, т. е. превращать этот закон в определяющий мотив своего поведения. Поэтому правовая социализация выступает как процесс постижения правовых норм и нравственных законов.

6. Идея права — свобода — впервые получила теоретически законченное выражение в трудах Г.-В.-Ф. Гегеля «Философия права» и «Феноменология духа». Введение понятия «философия права» в системе Гегеля фиксирует осознание права как идеи, осуществляемой в процессе имманентного развития общественной жизни. Право, по Гегелю, выражает объективный разум, самостоятельно существующий во времени, пространстве, а не субъективный произвол законодателя или правителя. В «Философии права» Гегель отмечает, что законы права в отличие от законов природы создаются людьми, поэтому могут быть несовершенны, нуждаются в улучшении. Гегель считает, что законы должны давать лишь прочные, устойчивые основоположения, адекватно выражающие сущность права, взятого само по себе. Гегель сформулировал концепцию правовой социализации на основе универсального понимания права и природы правообразующего интереса. Социализация личности — это процесс реализации человеческой сущности благодаря воспитанию и самодеятельности индивида в рамках конкретного общества, а сущность человеческого бытия составляет осознанная свобода как диалектическое снятие произвола. Гегель рассматривает процесс социализации личности, выделяя в нём этапы: в детстве ребёнок гармоничен, не чувствует противоречия между должным и сущим, а в отрочестве формируется самосознающая личность, которая чувствует, что она «ещё не есть то, чем она должна быть», т. е. в юности противопоставляется должное существующему. Взрослый человек, по мнению Гегеля, постигает должное в том, что есть, он воссоздаёт только то, что уже есть, он осуществляет свои личные цели в рамках существующих общественных порядков. В этом заключается смысл правовой социализации — нравственное и правовое поведение следует должному, способствует общественному прогрессу.

7. Следующая идея права — как возведённой в закон воли господствующего класса принадлежит К. Марксу и Ф. Энгельсу. Подчёркивается связь права с государством, с экономическим строем, с классовыми структурами, с принуждением и насилием. Маркс и Энгельс разоблачали буржуазный правопорядок как юридическое выражение несправедливых производственных отношений. Право опосредует и закрепляет существующий в той или иной стране государственный строй, выступает регулятором общественных отношений. Марксистская теория способствовала укреплению юридико-позитивистского подхода, который, отождествляя право и закон, сводит проблему социального смысла и роли права к вопросу о принудительно-регулятивном значении норм законодательства. Право выступает лишь как официальное наказательное орудие и подходящее средство для осуществления социального управления, регламентации и контроля. Причём выбор тех или иных форм и направлений правовой регуляции оказывается результатом волевого решения законодателя, выражающего интересы господствующего класса, а соотношение и взаимодействие различных социальных норм — волюнтаристской технологией манипуляции, приспособленной к целям той или иной концепции господствующего класса. Правовая социализация понимается как адаптация, подчинение человека правовым нормам, законам, выражающим интересы господствующего класса в обществе, подчинение под влиянием властного принуждения. В результате происходит формирование таких желаний и поведения человека, которые требуются в данной социальной группе, обществе.

8. Положение о праве как ценностно-нормативной системе (Э. Дюркгейм) показывает, что право выступает составной частью ценностной системы общества, отражая и воплощая ценности, характерные для этого общества. Право способствует формированию единых солидарных коллективных представлений в обществе, обеспечивает социальную стабильность, предохраняя индивидов и общество в целом от различных проявлений деструктивного и антисоциального поведения. Как нормативное образование право участвует в формировании структуры общества, контролируя

пределы допустимого в деятельности индивидов и государства. Рассматривая процесс социализации, Дюркгейм писал, что коллектив, общество, его социальные институты в решающей степени воздействуют на развитие каждого человека. Социальная жизнь, по Дюркгейму, «прямо вытекает из её коллективного существа». Коллективность трактуется им как «основной фактор социальности», естественное лоно жизнедеятельности людей. Если в обществе разрушаются социальные нормы и правовые законы, то возникает аномия (беззаконие), что порождает дезорганизованность общества, нарушение процесса социализации и рост девиантных, отклоняющихся форм поведения людей (рост преступности, самоубийств и пр.).

9. В XX веке возникло несколько мировоззренческих подходов к анализу социализации личности. Психоаналитический подход делает основной акцент на приоритет биологической сущности человека. З. Фрейд рассматривал социализацию как вхождение изначально асоциального индивида в общество. Поведенческий подход (Р. Уолтерс, Б. Скиннер, А. Бандура) рассматривает социализацию как процесс социального научения, формирования социально требуемых реакций поведения. Когнитивный подход (Ж. Пиаже, Л. Колберг) выделяет в качестве главного аспекта социализации развитие познавательных, нравственных структур личности. Интеракционистский подход (К. Левин, Р. Мертон, Т. Парсонс, Дж. Мид) определяет социализацию как процесс межличностного взаимодействия, освоения социальных ролей и влияния социальных факторов. Представители полифакторного подхода (Л. С. Выготский, Ж. Пиаже) учитывают биологические факторы, социальную среду, и саморазвитие личности. Универсумный подход рассматривает единство биологических, когнитивных, социальных и духовных факторов социализации. Представление о социализации как процессе интеграции индивида в систему существующих социальных связей, адаптации к культурным нормам, присущим как обществу в целом, так и отдельным группам, сформировалось в рамках структурно-функционального направления (Т. Парсонс, Г. Маркузе, Р. Мертон, Э. Фромм, Ш. Эйзенштадт).

По Парсонсу, социальный порядок в обществе достигается посредством социализации, в ходе которой человек усваивает ценности общества, в результате чего его индивидуальная мотивация согласуется с функциональными потребностями общества — и поведение личности осуществляется в соответствии с общезначимыми ценностями и правовыми нормами. Парсонс отмечал, что при помощи правовых норм упорядочиваются отношения между индивидами и институтами, что уменьшает потенциал конфликта. Если конфликт всё же возникает, то его следует улаживать через правовую систему, избегая дезинтеграции социальной системы. Согласно Парсонсу, право как инструмент социального контроля обеспечивает социальную гармонию в условиях индивидуализма, создаёт порядок из беспорядка. Государство и эволюция права находятся под влиянием в первую очередь культурно-религиозных ценностей, а также политических решений. Право тесно связано с политической жизнью общества, выступая как инструмент политики. Право выполняет интегративную функцию в обществе, и правовая социализация выступает как средство объединения людей, включения их в общество, способствует выполнению индивидуумами социальных ролей и обеспечивает их правозаконное поведение. Парсонс доказывает, что правовая социализация выступает как интернализация права (перевод внешних правовых норм во внутренние правовые убеждения человека), как интернализация ценностно-нормативных ожиданий общества. Конечная цель наличного бытия права, его смысл и назначение — регулирование общественных отношений, поведения людей в обществе.

10. Концепция права как инструмента социального контроля была разработана учёными Э. Россом, Р. Паундом. Цель права состоит в примирении и гармонизации сталкивающихся и перекрещивающихся интересов и требований. Правовая социализация выступает как процесс социального и государственно-правового контроля над поведением людей, в результате чего они соблюдают правопорядок. Р. Штаммлер доказывает, что общественный прогресс осуществляется

лишь в области права, которое и является определяющим фактором общественного развития: понятие общественного строя тождественно праву и означает лишь совокупность действующих в данный момент правовых норм. Правовая социализация понимается как формирование правосознания и способности личности осознанно участвовать в защите своих прав, в совершенствовании законодательства и развитии общества.

11. Психологическая теория права, одним из основоположников которой является Л. И. Петражицкий (1897—1931), подразделяет право на позитивное и интуитивное [3, с. 57]. Позитивное право представлено в виде официально действующих в государстве нормативно-правовых предписаний, законов. Интуитивное, или неофициальное, право — это чисто психическое явление, особое состояние души человека, охватывающее эмоции, представления, переживания (часть правосознания). Массовое правовое поведение людей выступает как продукт проявления интуитивного права соответствующих лиц, индивидов и масс. Позитивное право в разных своих частях отстаёт от развития интуитивного права и расходится с ним по содержанию. Поэтому неизбежно возникают разногласия между позитивно-правовыми и интуитивно-правовыми решениями конкретных дел и житейских вопросов. Петражицкий обосновал роль мотивов и эмоций в процессе социализации человека, усвоения им нравственных и правовых норм. Согласно аксиологической теории мотивации Л. И. Петражицкого, основное значение приобретают процессы переживания ценностей, происходящие в сознании субъекта.

Сегодня теория Петражицкого выступает как предпосылка таких новейших течений, как правовой реализм — реально существует различие правовых требований «на бумаге» и «в реальности», существует возможность противопоставления закона и практики его реализации. Представители школы «свободного права» (Е. Эрлих) утверждали, что закон «ещё не есть действующее право». «Всё, что законодатель в состоянии создать, это лишь план, лишь набросок будущего желательного правопорядка» (О. Бюлов). «Не всё действующее право действенно и не всё действительное право выражено в писаных нормах» (Г. Зинцгеймер). Эрлих призывал исследовать «живое право», которое не установлено в правовых положениях, но господствует в жизни, образует «внутренний распорядок человеческих союзов».

12. Один из наиболее известных исследователей правовой социализации в 60-е годы XX века — французский учёный Ж. Карбонье. Задачу правовой социализации он видит не только в том, чтобы усвоить правовые нормы, не как воспитание привычки повиноваться принуждению, а как привитие молодому поколению сознательной потребности обращаться к судье — арбитру, к третьему лицу в споре. Важными аспектами правовой социализации, с точки зрения Ж. Карбонье, являются включение индивида в «правовое пространство», очерченное «сетью правоотношений» и создаваемое людьми, связанными между собой и образующими группы, формирование правильного представления о системе и принципах правосудия.

13. Философ Ю. Хабермас предложил идею права как коммуникативного диалога — члены свободного сообщества должны обсуждать моральные принципы и правовые нормы, для того чтобы они могли быть реализованы. Такое обсуждение Хабермас называет рациональным коммуникативным дискурсом, в ходе которого достигается совместное и действенное общее мнение. Демократически обсуждаемые и принимаемые решения должны лежать в основе политической и правовой системы общества. «Практическая» философия Хабермаса ориентирует на включение права в систему интерсубъективного общения, в ресурс аргументаций субъектов коммуникации. Правовая социализация, с позиции Хабермаса, выступает как процесс социального и коммуникативного взаимодействия, дискурса, в ходе которого люди приходят к согласованной выработке, общему пониманию правовых норм и их сознательной реализации.

Смещение правовой социализации в сферу социального взаимодействия, сформулированное в современной социально-философской мысли, основывается на понимании значимости внут-

ренних (индивидных) форм социальности и роли правовой социализации в становлении социальности личности. Социальный индивид описывается как субъект правового выбора, осуществляемого в процессе социального взаимодействия. Обобщая всё многообразие понимания права и правовой социализации, следует признать, что правовая социализация в социально-философской мысли описывается по двум принципиальным основным направлениям: методологического индивидуализма и социального объективизма.

**Понимание правовой социализации в отечественной социальной философии.** В российской социально-философской мысли утвердились социально-субъектный и социально-структурный подходы к интерпретации правовой социализации личности. Их основное различие состоит в формуле социализации, исходности личности или государства, внутренних или внешних социальных форм.

В работах В. С. Нерсесянца, В. В. Лапаевой отмечается, что правовая социализация определяется деятельностью государства как основного правосубъекта, и подчёркивается способность права быть инструментом согласования различных социальных интересов в контексте формального равенства. Таким образом, отмеченная позиция исходит из правовой социализации личности, как внешней социальности.

С усвоением идей школы права Петражицкого, устанавливается, что правовая социализация действенна, когда органически связана с социальным опытом, с социальными эмоциями и переживаниями конкретных индивидов, т. е. важно рассматривать правовую социализацию как включение права в систему социальной самодетерминации, деятельностно-мотивационной структуры личности, формирование индивидной социальности.

С социально-философской позиции, если право является формой социального бытия людей, способом социальной регуляции, воспроизводством форм социальности, то правовая социализация личности выступает как освоение человеком норм и ценностей права в целях формирования личности. Российская социально-философская мысль рассматривает правовую социализацию как меру социальности личности (В. В. Толстых). Важны выводы российского социального философа В. Е. Кемерова о соотнесении права с исторически развивающейся социальной природой личности.

Системный образ социализации личности основан на векторности самого процесса: в нём сочетаются надличностное (общественное), внутриличностное и межличностное (социально-коммуникативное). Правовая социализация понимается как правовая коммуникация, в ходе которой человек познаёт свои права и обязанности, правовые нормы, которые регулируют его поведение.

Согласно субъект-объектному подходу (общество воздействует на человека, как на объект), социализированность человека определяется способностью успешно ориентироваться в общественной жизни, а также проявлять конформность к социальным и правовым предписаниям. Согласно субъект-субъектному подходу (Ч. Кули и Д.-Г. Мид), человек активно участвует в процессе социализации и социализацию можно трактовать как развитие и самоизменение человека в процессе усвоения и воспроизводства культуры, что происходит во взаимодействии человека со стихийными, относительно направляемыми и целенаправленно создаваемыми условиями жизни на всех возрастных этапах. Субъект-субъектный подход определяет социализированность степенью способности человека быть субъектом собственного развития и в какой-то мере общества в целом, степенью освоения и принятия норм морали и права. Именно освоение норм морали и права объединяет субъект-объектный и субъект-субъектный подходы, является общим для них. Правовая социализация — это процесс усвоения человеком развивающихся социальных и правовых ценностей, на основе которых формируются осознанные позитивные социально-правовые и психологические установки, определяющие поведение индивида в данном социальном и право-

вом пространстве, т. е. внешние и внутренние формы социальности переплетены в единую систему.

**Особенности правовой социализации в современном российском обществе.** Существенное своеобразие современного российского социума состоит в декларированном признании права, с одной стороны, и ограниченности, неполноты форм правового воспроизводства на системном и межличностном уровнях — с другой. Право одобряется как идеальный конструкт, как должная сфера социального бытия, но не влияет на производство и воспроизводство форм социальности, уступая место различным адаптивным или спонтанным влияниям. В постсоветском обществе не сложилась система правовой социализации, интернализации правовых норм в сознании и поведении людей, в формировании их повседневных практик и выбора способов жизнедеятельности. Бытие российского общества закрепилось в обыденном сознании как неправовое, существует пропасть между декларированными в законодательных актах принципами демократического устройства и развития государства и теми нормами, которые реализуются в повседневной политической, экономической и социальной российской практике. Интенсивное использование неправовых практик в различных сферах социальной жизни российского общества искажает процесс правовой социализации как процесс вхождения личности в правовое пространство и как формы воспроизводства её социальности. В результате формируются установки неправового поведения подобно бомбе замедленного действия. Недоверие к существующей системе права и неверие в её действенность не способствуют возникновению у большинства населения современной России желания углублять свои знания в области правового законодательства, что в итоге часто приводит к игнорированию норм права в силу их незнания.

Правовая социализация личности в изменяющемся российском обществе является внешней формой социальности, ориентированной на регулятивную функцию правовых норм, закрепление правового статуса граждан через зависимость от функционирования государства как основного источника и гаранта права. Правовая социализация в таком контексте понимается как результат воздействия на личность социальных институций с целью усвоения и осмысления личностью правовых норм в отношениях с государством и обществом и не в полной степени актуализирует значимость права в становлении социальности личности. Но правовая социализация, исходя из приоритета внутренних форм социальности, может реализоваться как включение индивида в мир права, закрепление минимальных стандартов социальной жизни и актуализацию права в качестве потребности и условия социального взаимодействия людей.

В современной России в зависимости от отношения к праву можно выделить следующие типы личности: традиционалисты, достиженцы, нигилисты, криминалы. Традиционалисты, как тип личности, ориентированной на принудительное значение права, придерживаются социально-контролирующего воздействия правовых норм и рассматривают правовую социализацию как инструмент формирования законопослушной личности. Достиженцы оценивают право в контексте реализации собственных жизненных целей и фиксируют отношение индивида к праву как связь индивида с другими людьми. Предметом правовой социализации для них становится формирование определённой направленности индивида на правовую активность как основу индивидуальных проявлений социальной жизни. Нигилисты не верят в справедливость и полезность права, осуждают деятельность правоохранительных органов, а криминалы явно или скрыто нарушают нормы права, их поведение может быть криминогенно, преступно. Правовой нигилизм, установка на допустимость антиправового поведения в условиях бездейственности формального законодательства и в целом неуважение к закону — типичны в среде российской молодёжи [4]. Нигилисты преобладают в современной России, что свидетельствует о значительных нарушениях процесса правовой социализации.

Модель личностно ориентированной правовой социализации молодёжи должна включать в себя такие важные составляющие, как: осознание личностью собственной ценности и правового статуса; осознание личностью реальности реализации основных свобод и прав; осознание и применение личностью принципа личной инициативности в деле защиты прав и свобод в процессе формирования правового государства; осознание личностью неукоснительности соблюдения законодательно-нормативных предписаний на основе реального уважения к закону.

**Заключение.** Правовая социализация личности в контексте социально-философского анализа выявляет необходимость рефлексии принципов, закономерностей и характера правовой социализации. Правовая социализация личности в современном российском обществе является внешней формой социальности, но необходимо усилить внутренние (индивидные) формы социальности, реализуя личностно-ориентированную модель правовой социализации. Личность как социальный индивид с определёнными стратегиями действия опирается на право как ресурс саморазвития.

**Библиографический список**

1. Философия права: учебник / О. Г. Данильян [и др.]; под ред. О. Г. Данильяна. — Москва: Эксмо, 2005. — 416 с. — (Российское юридическое образование). — ISBN 5-699-08705-2.

2. Ллойд, Д. Идея права / Д. Ллойд; переводчики с англ.: Ю. Юмашев, М. Юмашева. — Москва: Книгодел, 2004. — 416 с. — ISBN 5-9659-0003-1.

3. Петражицкий, Л. И. Теория права и государства в связи с теорией нравственности / Л. И. Петражицкий; С.-Петерб. гос. ун-т. Юрид. и специал. фак., Журн. «Правоведение». — Санкт-Петербург: Лань, 2000. — 606, [1] с. — (Классики истории и философии права). — ISBN 5-8114-0224-4.

4. Зубок, Ю. А. Правовая культура молодёжи в ракурсе трансформационных стратегий / Ю. А. Зубок, В. И. Чупров // СоцИс. — 2006. — № 6. — С. 37—46.

Материал поступил в редакцию 22.12.2011.

**References**

1. Filosofiya prava: uchebnik / O. G. Danil`yan [i dr.]; pod red. O. G. Danil`yana. — Moskva: E`ksmo, 2005. — 416 s. — (Rossijskoe yuridicheskoe obrazovanie). — ISBN 5-699-08705-2. — In Russian.

2. Llojd, D. Ideya prava / D. Llojd; perevodchiki s angl.: Yu. Yumashev, M. Yumasheva. — Moskva: Knigodel, 2004. — 416 s. — ISBN 5-9659-0003-1. — In Russian.

3. Petrazhiczkij, L. I. Teoriya prava i gosudarstva v svyazi s teoriej nravstvennosti / L. I. Petrazhiczkij; S.-Peterb. gos. un-t. Yurid. i special. fak., Zhurn. «Pravovedenie». — Sankt-Peterburg: Lan`, 2000. — 606, [1] s. — (Klassiki istorii i filosofii prava). — ISBN 5-8114-0224-4. — In Russian.

4. Zubok, Yu. A. Pravovaya kul`tura molodyozhi v rakurse transformacionny`x strategij / Yu. A. Zubok, V. I. Chuprov // SocIs. — 2006. — # 6. — S. 37—46. — In Russian.

## SOCIOPHILOSOPHICAL ANALYSIS OF LEGAL PERSONAL SOCIALIZATION

**L. D. Stolyarenko**
(Rostov State University of Economics),
**A. B. Tazayan**
(Don State Technical University),
**V. G. Takhtamyshev**
(Rostov State Transport University),
**D. V. Stolyarenko**
(Novocherkassk State Reclamation Academy)

*The social and philosophical analysis of the development of the law and legal socialization idea in the history of philosophical thought is given. Besides, some negative features of the legal socialization in the contemporary Russian society are revealed.*

***Keywords:*** *legal socialization, law as a form of social existence, idea of law, sociality, external and internal (individual) forms of sociality.*

# СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 338.46:658.6

## Повышение эффективности организации производства предприятий сферы услуг на основе пространственно-временных интерпретаций товарных категорий

**Т. В. Симонян, Д. Б. Дащинский**
(Донской государственный технический университет)

*Практика организации производства предприятий сферы услуг свидетельствует о том, что категория «товар» не только обусловливает трансформации вещественной формы, но и определяет основные направления эффективной деятельности данной сферы в целом. Трансформация вещественной составляющей «товар — услуга» должна быть рассмотрена в контексте пространственно-временных интерпретаций.*
***Ключевые слова:*** *организация производства, сфера услуг, товар, услуга, модификация товарных матриц, пространственно-временная интерпретация.*

**Введение.** Сущность товара выражается в двух его сторонах: меновой и потребительной стоимостях, которые обеспечивают прибыль и повышают эффективность организации производства предприятий различных отраслей, в том числе сферы услуг. В свою очередь, одна из сторон товара — потребительная стоимость, выражающаяся в виде выгод, благ, обеспечивает удовлетворение желаний конечного потребителя.

Если для предприятий (в т. ч. сферы услуг) фокусом внимания является как меновая, так и потребительная стоимости, то для потребителя фокус — прежде всего потребительная стоимость, как ценность, как услуга, а меновая стоимость, цена, его интересует только как мера ценности потребления. Данное положение актуализирует проблему данной статьи.

**Основная часть.** Первое экономически осмысленное определение товара, данное А. Смитом, было развито и изложено К. Марксом и Ф. Энгельсом — человек, который производит предмет непосредственно для своего потребления, создаёт продукт, но не товар. Чтобы стать товаром, продукт должен производиться не как непосредственное средство существования для самого потребителя. Продукт стал превращаться в товар с появлением частной собственности уже внутри общины, когда излишки продуктов труда начали использовать для обмена. Таким образом, продукт, вступающий в обмен, является товаром. Из этого можно предположить, что товар является более узким понятием, так как продукт труда дополнительно должен наделяться рыночными атрибутами для повышения эффективности обмена (рис. 1).

С развитием производства товар становится всеобщей формой продукта. Если продукт интересен и является потребителю в виде потребительной стоимости, то товар, поскольку он вступает в процесс обмена, представляется с двух точек зрения: потребительной стоимости и цены (меновой стоимости, если последняя выражена не в деньгах). Отсюда уже, несомненно, видно, что товар — более узкое понятие в сопоставлении с продуктом.

На любом этапе цепочки товародвижения его участники, в том числе покупатель, если он не является конечным потребителем, покупают и продают товар. И только конечный потребитель приобретает не товар, а продукт, ту потребительную стоимость, ценность, выражаемую в выгоде, пользе, благе, т. е. в необходимой ему услуге. Но при этом продукт является также носителем

потенциальной меновой стоимости, товаром. Таким образом, может происходить метаморфоза, превращение «продукт — товар — продукт».

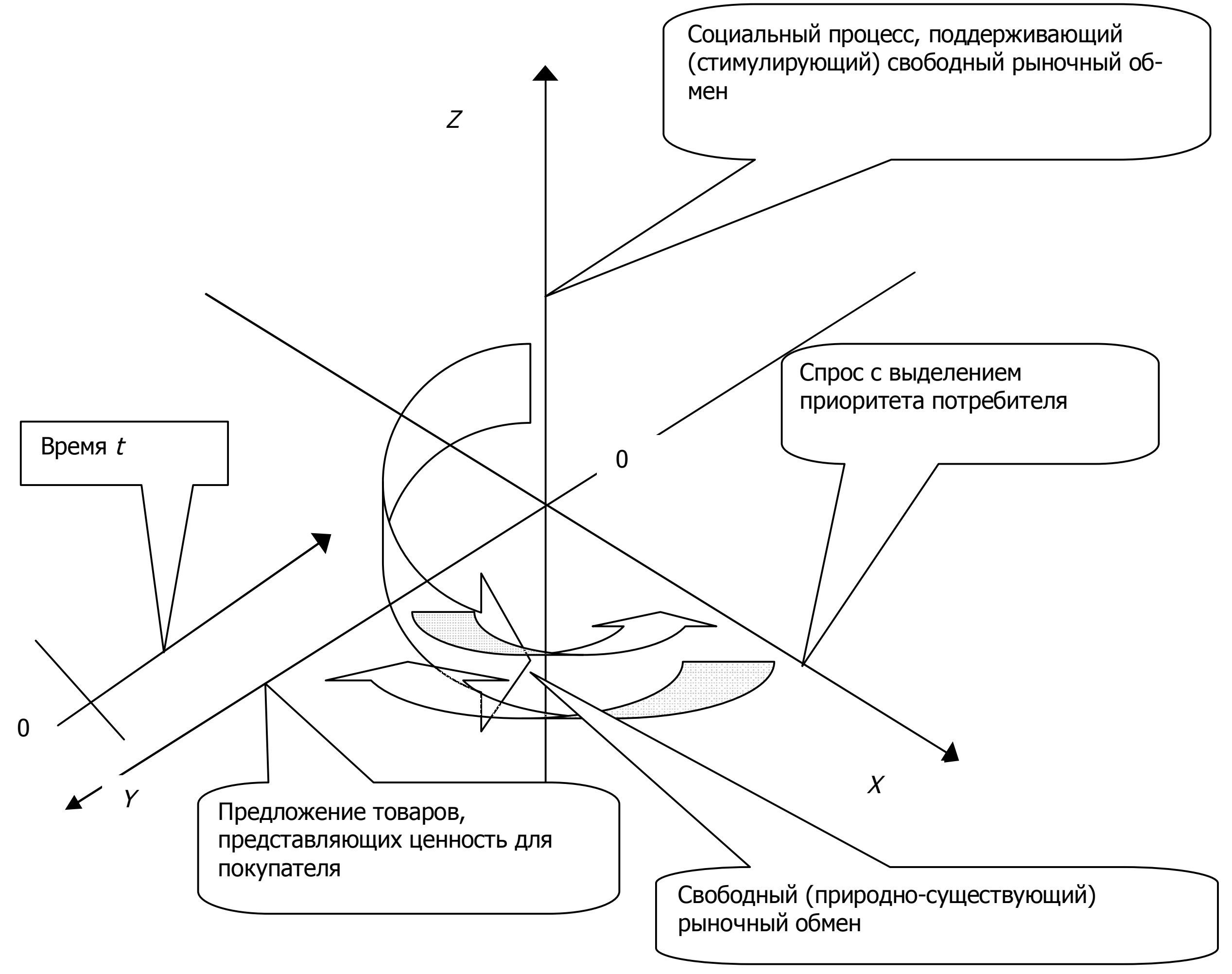



Рис. 1. Пространственно-временная интерпретация соотношения категорий спрос, предложение и обмен

Товар может выступать и в форме самой рабочей силы, временным проявлением которой является сам труд, который как таковой никогда не может быть товаром непосредственно. Организация производства на предприятиях сферы услуг осложняется необходимостью учёта не только товарных интерпретаций, но и трансформаций категорий «товар — услуга» [1].

К. Маркс дал характеристику услуге применительно как к производительному, так и к непроизводительному труду. При этом услугу К. Маркс определяет как потребительную стоимость, воплощённую и в товаре, и в виде чистых услуг, не получающих в виде вещи самостоятельного бытия отдельно от исполнителя. Здесь же К. Маркс отмечает, что потребитель покупает услуги для потребления, т. е. как потребительные стоимости, предметы, тогда как для предприятий сферы услуг они — товары, которые имеют и потребительную и меновую стоимости.

Нематериальность так называемой «чистой» услуги, которая приобретается в результате взаимодействия субъектов с точки зрения современных знаний и достижений науки в области физических и других эффектов, — понятие условное. Более того, можно сказать, что «чистой» услуги не существует [2]. Ведь она воплощена в каком-либо товаре, является его свойством, и её приобретают в процессе обслуживания или самообслуживания.

Потребителю не нужен объект или субъект как носитель услуги, ему не нужен продукт, тем более ему не нужен товар. Потребителю нужно удовлетворение его потребности — какое-

либо благо, т. е. услуга. Потребитель вынужден приобретать продукт именно ради этой услуги. Производителю, так же как и потребителю, нужно только удовлетворение его потребности, нужна услуга в виде, например, прибыли или имиджа. Ведь производитель — понятие относительное. Он же является и потребителем для тех, у кого он приобретает сырьё, получая от них необходимое ему благо. Услуги — результат взаимодействия, как правило, заинтересованных сторон, причём источником и потребителем услуг являются и та и другая стороны.

Как представляется, с точки зрения организации производства, товар — это совокупность полезных свойств, качеств и характеристик изделия или услуги — в общем случае блага, в том числе и нематериальной природы, — способных удовлетворить предъявленную или декларируемую (предполагаемую, заложенную в паспортных или рекламных данных о благе) потребность. Таким образом, под товаром понимается не только изделие как таковое, но и специфические особенности его нематериальной субстанции. Другие потребительские характеристики товара, так или иначе предстающие перед клиентом сферы услуг, и, в конечном итоге, оказывающие влияние на его решение совершить первую покупку или сохранить приверженность данному предприятию и стать его постоянным клиентом, также входят в определяемый комплекс товара.

В настоящее время специалисты в области организации производства отказываются от категории «товар», считая её слишком узкой, и предпочитают использовать более широкое понятие — «товар в рыночном понимании», обозначающее не только саму продукцию, но и сопроводительную документацию, рекламу, систему гарантий, а также послепродажный сервис и даже товарную (торговую) марку и бренд. В рыночное понимание товара, безусловно, должно быть включено всё множество услуг материальной или иной природы, которое потребитель получает в сфере обслуживания и коммунального хозяйства, т. е. весь спектр потребительских благ. Услуга и торговля услугами являются ключевыми категориями в торговой политике предприятий сферы услуг. Не определив, какие явления охватываются этими понятиями, трудно оценить уровень и характер барьеров в международной торговле услугами, последствия её либерализации или, наоборот, введения протекционистских мер для национальной экономики. Без упомянутых определений невозможны нормальный процесс принятия решений по вопросам государственного регулирования экономики услуг и разработка соответствующего законодательства.

Экономическая теория не сформулировала исчерпывающего определения услуги как абстрактной категории, т. е. услуги вообще. Слишком неоднороден ряд видов экономической деятельности, охватываемый термином «услуги». Тем не менее, в практической деятельности предприятий сферы услуг всегда существовало общее понимание этого термина: услуга — это всё, чем торгуют, но не товар. Традиционным является построение определения услуг на противопоставлении их товарам; такой подход является наиболее простым. Большинство услуг, по сравнению с товарами, неосязаемы. Их нельзя увидеть или пощупать. Данное свойство многих услуг остроумно отражает широко цитируемое в экономической литературе определение услуг, опубликованное в журнале Economist: «Услуга — это всё, чем торгуют, но что не может упасть вам на ногу». Другие определения также основаны на противопоставлении услуги товару: услуга недвижима, мимолётна и не может храниться. Производство, предоставление и потребление услуги совпадают по времени, тогда как потребителю товара нет необходимости присутствовать в момент его производства. Организация деятельности по оказанию услуг неотделима от самого процесса этой деятельности, а результат или эффект услуги неотделим от потребителя её и не может составлять предмет новой сделки.

Вместе с тем все эти критерии хотя и верно подмечают характерные свойства большинства услуг, но верны не для всех случаев; в отношении других критериев также можно найти много исключений.

Иной подход к определению понятия «услуга вообще» использует Т. П. Хилл: «Услуга может быть определена как изменение в условиях лица или товара, принадлежащего какой-либо экономической единице, которое является результатом деятельности какой-либо другой экономической единицы с предварительного согласия первого лица или экономической единицы» [3]. В данном определении акцент сделан на таком критерии, как изменение, а также на возможности разграничить в пространстве и во времени процесс оказания услуги и его потребляемый результат. Однако и это определение не свободно от недостатков. Так, например, цель оказания некоторых услуг заключается как раз в недопущении изменений. Трудно установить связь между оказанием услуг и изменением в условиях потребителя таких услуг в страховании. Остаются неохваченными этим определением услуги, которыми «не торгуют» — например, услуги по поддержанию общественного правопорядка и национальной безопасности, обеспечению соблюдения законности — и в случае которых условие «добровольного соглашения» между поставщиком и потребителем услуги не выполняется.

К. Марксу удалось избежать вышеперечисленных недостатков при определении категории услуги, но достигнут этот результат ценой ещё большего обобщения. Характеризуя услуги, он писал: «Это выражение означает вообще не что иное, как ту особую потребительную стоимость, которую доставляет этот труд, подобно всякому другому труду; но особая потребительная стоимость этого труда получила здесь специфическое название „услуги" потому, что труд оказывает услуги не в качестве *вещи*, а в качестве *деятельности*…» [4, с. 413]. В результате чего «в каждый данный момент в числе предметов потребления, наряду с предметами потребления, существующими в виде товаров, имеется известное количество предметов потребления в виде услуг. Таким образом, общая сумма предметов потребления всегда оказывается больше той, какою она была при отсутствии пригодных для потребления услуг» [4, с. 151].

Таким образом, изыскания, направленные на поиски определения услуги вообще представляют применительно к организации производства в большей степени интерес теоретический, нежели практический.

Товар воспринимается на нескольких уровнях — как замысел товара, предназначенного для удовлетворения предъявленного или ещё формирующегося спроса; как товар в реальном исполнении с заложенным в нём комплексным качеством, внешним оформлением и упаковкой, наличием или отсутствием патента, лицензии, торговой марки; наконец, как общественное признание товара в качестве бренда, которое обусловливает успешную конкурентную борьбу предприятия, способствует созданию высокого авторитета и хорошей деловой репутации производителя в потребительской среде, обеспечивает возможности для дальнейшего совершенствования товара.

В связи с этим принято говорить о 2-, 3- и 5-уровневой концепции товара. Однако вне зависимости от количества уровней каждая из названных концепций признаёт необходимость учёта товарных интерпретаций как фактора повышения эффективности производства предприятий сферы услуг.

Важным товарным фактором, присутствующим во всех вышеперечисленных концепциях, является упаковка, которая выполняет следующие функции:

- предохраняет товар, обеспечивает его сохранность;
- облегчает хранение и демонстрацию товара;
- содержит информацию о товаре и его марке;
- облегчает покупателям транспортировку и хранение товара;
- облегчает покупателям использование содержимого;
- упрощает для покупателей утилизацию и переработку упаковки.

Однако в современных условиях упаковка прежде всего способствует продвижению товара за счёт содержащихся на ней рекламных сообщений.

Естественно, чтобы получать запланированную прибыль, успешно существовать, любое предприятие должно вовремя произвести свой товар, установить цену на него и выйти с ним на внешний или внутренний рынок; однако предварительно предприятие должно разработать на заданный период своей деятельности товарную, торговую и ценовую политику. Особую роль при разработке товарной политики играют товарные классификации.

Товары безотносительно каких-либо систем принято делить на потребительские (личного использования) и производственного назначения (термин «товар промышленного назначения» менее предпочтителен, так как промышленность является лишь частью экономики). Характер потребления этих разных товаров каждой из этих групп весьма различен, покупка их вызывается соответствующими потребностями и оправдывается разными мотивами: побуждениями к деятельности, объяснениями самомотивации как явления, вытекающего из иерархии потребностей по Маслоу, любыми мотивировками причин покупки, которые выдвигают сами потребители.

Как правило, приобретение товара личного использования — это акт единоличной воли, максимум — коллективной воли всех членов семьи. Покупка же товара производственного назначения для организации — акт коллективного решения, в выработке которого участвуют обычно не меньше 6—8 чел. персонала, представляющего разные административные уровни управления. Естественно, что для успешного сбыта этих товаров непременно должны учитываться данные обстоятельства и следует представлять психологический портрет лиц, от которых зависит принятие окончательного решения о покупке.

Товары и услуги личного использования по характеру их потребления обычно делят на три группы: товары длительного использования; товары краткосрочного использования; услуги.

Традиционно при анализе формирования стоимости не делают различий между материальной (изделие) и нематериальной (услуга) формами, определяя вновь созданную потребительную ценность единым универсальным термином «товар». Однако мотивация приобретения товара в зависимости от позиций выбранного классификатора может меняться, как это показано в табл. 1.

*Таблица 1*

**Примерный набор потребительских мотивов выбора товарного блага[1]**
**(ранжировано с точки зрения значимости мотива)**

| Товары длительного пользования | Товары текстильной и лёгкой промышленности |
|---|---|
| 1. Уровень потребительских свойств | 1. Фасон |
| 2. Дизайн | 2. Соответствие моде |
| 3. Популярность и престижность марки (модели) | 3. Цвет |
| 4. Цена приобретения и тарифы обслуживания | 4. Качество материала (ткани, кожи и т. д.) |
| 5. Уровень надёжности | 5. Качество пошива |
| 6. Габариты изделия | 6. Посадка по фигуре |
| 7. Удобство размещения в жилых и производственных помещениях | 7. Состав исходного сырья |
| 8. Вес (нетто и с упаковкой) | 8. Качество фурнитуры (отделки) |
| 9. Уровень энергопотребления | 9. Цена покупки |
| 10. Безопасность пользования | 10. Размер партии, тиражность изделия |

Приведённый набор потребительских мотивов доказывает, что элемент коммуникаций оказывает влияние на выбор и первой, и второй группы товаров. Таким образом, являясь внешней оболочкой, товар как категория отражает различные элементы пространственно-временных интерпретаций.

В условиях повышения эффективности организации производства, решения по товарам определяют, какие товары и услуги должны предлагаться данной группе потребителей. Важным

[1] Данные социологического опроса по 13 промышленным предприятиям Ростовской области. Объём стандартной выборки — 1600 респондентов. Погрешность оценки — 1,5 %.

элементом такого решения является разработка новых товаров. По мере изменений в технологиях производства и в потребительских вкусах товары устаревают и становятся менее конкурентоспособными. Следовательно, предприятиям приходится заботиться о замене их такими товарами, свойства которых составляли бы безусловную ценность для потребителей.

Новые товары следует классифицировать следующим образом:

а) пионерские товары — не имеющие аналогов на рынке и удовлетворяющие новую потребность;

б) принципиально усовершенствованные товары — имеющие качественные отличия от аналогов и развивающие границу потребностей;

в) модифицированные товары — частично усовершенствованные;

г) товары рыночной новизны — известные товары, нашедшие новое применение.

В основе данной классификации находятся два признака: первый признак — новизна удовлетворяемой потребности, второй — новизна облика товара. Под обликом товара следует понимать набор его объективных характеристик, к которым следует относить и различные элементы коммуникаций.

Использование двух вышеперечисленных классификационных признаков явилось базой для построения матрицы рыночной новизны товара (см. табл. 2).

*Таблица 2*

**Матрица рыночной новизны товара**

| Потребность | Облик продукта | |
|---|---|---|
| | Принципиально или существенно новый | Старый или изменённый |
| Новая | А — подлинная инновация | D — новое применение |
| Прежняя на новом уровне | В — модернизация | С — модификация |

Получившиеся классы товаров — это, по существу, направления повышения эффективности организации производства на предприятии. Буквы в матрице соответствуют исходной классификации товара по степени новизны для рынка, что подчёркивает преемственность и согласованность полученных результатов с ранее известными.

С позиций организации производства данная матрица является стратегической товарной, поскольку в ней конкретизированы возможные товарные стратегии предприятия. Фактически в матрице определены и конкретизированы понятия инновации, модернизации и модификации, используемые в практике организации производства предприятий сферы услуг. Подлинная инновация означает предложение рынку нового товара или услуги, основанного на новых научных и инженерных идеях, позволяющего удовлетворить новую потребность. Модернизация означает существенное изменение прототипа, позволяющее повысить качество удовлетворения прежней потребности. Модификация — результат незначительного изменения облика товара или услуги для улучшения удовлетворения прежней потребности на более высоком уровне качества. Модификация позволяет изменить позиционирование товара (услуги) и улучшить его конкурентное положение. Она также может преследовать цель выхода на новый рыночный сегмент.

Обе оси матрицы характеризуют рыночную новизну товара — одна с позиций облика, а другая с позиций потребностей. Как правило, степень удовлетворения потребности напрямую зависит от степени новизны товара в смысле заложенных научных идей, инженерных, конструкторских и технологических решений. Исключением является новое применение товара. Оси могут рассматриваться как причина и следствие или, используя статистическую терминологию, соответствуют факторному и результативному признакам. Горизонтальная ось (облик товара) характеризует усилия предприятия, направленные на удовлетворение потребностей потребителей, вертикальная — фактически характеризует достигнутый результат.

Применение этого метода к анализу обновления рыночного предложения предприятия позволяет выявить многообразие изменения такого предложения и конкретизировать четыре вида рыночной новизны товара — инновацию, модернизацию, модификацию и новое применение. Следует сосредоточить внимание на таком применении статистической классификации, когда она рассматривается как способ определения сложных понятий и применяет матрицу «товар — рынок» для разработки стратегии роста предприятия (см. табл. 3).

*Таблица 3*

**Модификация матрицы «товар — рынок»**

| Товар | Рынок | |
|---|---|---|
| | Старый | Новый |
| Старый | 1. Глубокое проникновение | 2. Расширение рынка |
| Новый | 3. Разработка товара | 4. Диверсификация |

Для практического использования этой матрицы требуется конкретизация содержания используемых классификационных признаков в матрице — новизны рынка и новизны товара. В практической деятельности предприятий под новизной рынка (горизонтальная ось) может пониматься выпуск нового товара или новый потребительский сегмент, т. е. более частная характеристика рынка, относящаяся к потребителям. Новизна товара (вертикальная ось) на практике может означать новизну по отношению ко всему рынку или только по отношению к предприятию. Анализ литературы и самой матрицы показывает, что здесь рынок понимается в смысле рынка сбыта или совокупности потребителей, новизна товара понимается по отношению к предприятию.

Для оценки рыночной адекватности товара могут быть применены различные подходы:

а) полевые исследования, позволяющие выяснить активизацию потребностей и их предпочтения при покупке тех или иных товаров;

б) лабораторные исследования, предопределяющие возможность оценки эмоционального воздействия товара на потребителей;

в) аналитическое моделирование, обеспечивающее выявление оценки субъективного качества товара;

г) многомерное компьютерное моделирование, обеспечивающее сравнительные оценки разных товаров по самым различным характеристикам.

Полевые исследования рыночной адекватности товара основаны на изучении соответствия товара потребностям покупателей в естественных условиях на разных стадиях конкретизации потребностей.

Более разносторонне и объективно оценка рыночной адекватности товара может быть проведена с помощью лабораторных исследований, регистрирующих эмоциональное воздействие товаров на потребителей.

Рыночная судьба нового товара зависит от того, готов ли потребитель принять новизну. Принятие новинки — мысленный процесс, через который проходит индивид, начиная с момента получения первой информации о новом товаре до его окончательного принятия, т. е. до решения стать постоянным пользователем данного товара. Процесс принятия включает пять стадий: получение начальной информации о новинке — первоначальная осведомлённость; появление интереса — начинается поиск информации о новинке; оценка — потребитель решает, стоит ли опробовать новинку; опробование и принятие решения о том, чтобы стать постоянным пользователем нового товара.

**Заключение.** При организации производства и сбыта новых товаров или услуг необходимо способствовать прохождению потребителей через все стадии принятия новинки.

При этом наблюдается неразрывная связь в реализации товарных и коммуникационных инструментов рыночной деятельности предприятий.

Единство товарно-временных интерпретаций микса обычно возникает на этапе рыночной апробации новых товаров, например при определении отношения конечных покупателей к предлагаемым новинкам.

**Библиографический список**

1. Егорова, Т. А. Организация производства на предприятиях машиностроения: учеб. пособие / Т. А. Егорова. — Санкт-Петербург: Питер, 2004. — 304 с.

2. Симонян, Т. В. Маркетинг и маркетинговые коммуникации: учеб. пособие / Т. В. Симонян, Т. Г. Кизилова. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2011. — 212, [1] с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-222-18153-9.

3. Hill, T. P. On goods and services / T. P. Hill // Review of Income and Wealth. — V. 23 (December 1977). — P. 315—338.

4. Маркс, К. Сочинения. Т. 26, Ч. I / К. Маркс, Ф. Энгельс; Ин-т марксизма-ленинизма при ЦК КПСС. — 2-е изд. — Москва: Политиздат, 1962. — XXVI, 477, [1] с.

Материал поступил в редакцию 02.12.2011.

**References**

1. Egorova, T. A. Organizaciya proizvodstva na predpriyatiyax mashinostroeniya: ucheb. posobie / T. A. Egorova. — Sankt-Peterburg: Piter, 2004. — 304 s. — In Russian.

2. Simonyan, T. V. Marketing i marketingovy`e kommunikacii: ucheb. posobie / T. V. Simonyan, T. G. Kizilova. — Rostov-na-Donu: Feniks, 2011. — 212, [1] s. — (Vy`sshee obrazovanie). — ISBN 978-5-222-18153-9. — In Russian.

3. Hill, T. P. On goods and services / T. P. Hill // Review of Income and Wealth. — V. 23 (December 1977). — P. 315—338.

4. Marks, K. Sochineniya. T. 26, Ch. I / K. Marks, F. E`ngel`s; In-t marksizma-leninizma pri CzK KPSS. — 2-e izd. — Moskva: Politizdat, 1962. — XXVI, 477, [1] s. — In Russian.

## SERVICE INDUSTRIAL MANAGEMENT EFFECTIVIZATION BASED ON SPACE-TIME INTERPRETATIONS OF PRODUCT CATEGORIES

**T. V. Simonyan, D. B. Dashchinskiy**
(Don State Technical University)

*The industrial management practice of the service industries implies that the 'goods' category not only specifies the tangible form transformations, but sets the basic trends of the effective operation of the sphere at large. The transformation of the 'goods — service' tangible component should be considered within the context of the space-time interpretations.*

***Keywords:*** *industrial management, service industries, goods, service, commodity matrix modification, space-time interpretation.*

УДК 33.338

# Производство наукоёмкой продукции как фактор активизации предпринимательской деятельности вузов

**С. Н. Цветкова**
(Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса),
**Л. Р. Клиновенко, Ю. В. Калачёв, М. Г. Магомедов**
(Донской государственный технический университет)

*Рассматривается сущность наукоёмкой продукции и особенности её производства на базе вузов. Формулируются проблемы и перспективы коммерциализации интеллектуальной собственности в современных условиях функционирования высшей школы.*
***Ключевые слова:*** *наукоёмкая продукция, интеллектуальная собственность, вузы, коммерциализация.*

**Введение.** Основными видами предпринимательской деятельности вузов до недавнего времени являлись, к примеру, сдача помещений в аренду и оказание платных дополнительных образовательных услуг. В современных условиях инновационной экономики и с учётом возможностей нового законодательства вузы могут учреждать коммерческие структуры, основным видом деятельности будет производство инновационной продукции. Для практической реализации данного положения необходимо создание венчурных фондов в форме инвестиционных товариществ.

**Фактор активизации предпринимательской деятельности вузов.** В настоящее время в России ускоренно формируется инновационная экономика, позволяющая на базе интеллектуального потенциала обеспечивать расширенное воспроизводство наукоёмкого валового продукта. Наиболее важным структурным сдвигом в современной экономике является включение науки в систему производительных сил, научно-технический потенциал стал главным фактором развития в рамках отдельных стран или регионов.

Внешними признаками нового положения науки в обществе стали: многократное увеличение количественных параметров сферы науки, организация научно-исследовательских лабораторий на всех значительных промышленных предприятиях, формирование государственного сектора исследований и разработок.

Специфическими особенностями наукоёмкой продукции являются:

– техническая сложность и новизна;
– необходимость значительных временных и материальных затрат на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
– большие объёмы потребных ресурсов, высокая степень кооперации, в том числе международной;
– вовлечение в процесс разработки и создания наукоёмкой продукции большого количества смежных и поддерживающих отраслей;
– наличие наряду с целевым коммерческим эффектом сопутствующего научно-технического, экономического, экологического и социального эффектов [1].

Среди организаций, занимающихся развитием науки и техники, российские вузы оказались наиболее подготовленными к рыночным отношениям в экономике. Этому способствовал многолетний опыт хозрасчётного финансирования вузовской науки на основе тесного сотрудничества с предприятиями и отраслями промышленности. Выполняя большой объём фундаментальных исследований, вузовские учёные в то же время хорошо знали производственные проблемы, умели

доводить свои разработки до опытных образцов и малых серий, то есть задача «зарабатывания» средств была для них не новой.

Значительную поддержку развитию этого процесса оказали федеральные органы управления высшим образованием. Видя в развитии мелкосерийного наукоёмкого производства одну из возможностей сохранения вузовской науки и научно-педагогических кадров, они разработали концепцию инновационной деятельности в вузах Российской Федерации и утвердили около 20 инновационных научно-технических программ по различным направлениям науки и техники.

Правовую основу возможности производства наукоёмкой продукции на базе вузов создал Федеральный закон № 217-ФЗ от 02.08.2009 «О внесении изменений в законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности» [2]. Этот закон создал базу для развития такого вида предпринимательской деятельности вузов, как создание хозяйственных обществ. При этом в уставный капитал вновь создаваемой предпринимательской структуры разрешено вносить денежные средства, оборудование и иное имущество, находящееся в оперативном управлении учреждения, а также право использования результатов интеллектуальной собственности. Исключительное право на результаты интеллектуальной собственности сохраняются за учреждением. При создании компании совместно с другими лицами доля учреждения в уставном капитале должна составлять более 25 % (для акционерных обществ) и 1/3 (для обществ с ограниченной ответственностью). Распоряжаться долями (акциями) учреждение вправе только с согласия собственника его имущества. Полученная от создания хозяйственных обществ прибыль поступает в самостоятельное распоряжение учреждения и учитывается на отдельном балансе. Она может использоваться только на правовую охрану результатов интеллектуальной собственности, выплату вознаграждения их авторам и ведение уставной деятельности учреждения. С момента принятия закона в России организовано более 900 компаний при государственных вузах и НИИ. Основная их масса открыта при вузах (98 %), остальные — при научных институтах [3].

Созданные вузами и НИИ хозяйственные общества в большинстве своём представляют собой малые инновационные предприятия. По своей сути инновационное предпринимательство — это процесс создания и коммерческого использования технологических нововведений. Малые инновационные предприятия при вузах являются тем звеном, которое соединяет воедино науку и промышленность. Они готовы взять на себя риск превращения идеи в создание опытных образцов изделий. Без этого невозможно оценить, насколько перспективной окажется на рынке данная научная разработка и стоит ли заниматься её коммерциализацией. Именно из-за инновационного риска на этой стадии многие крупные компании не делают масштабные инвестиционные вложения, ведь им нужны хотя бы какие-то гарантии успеха.

Практическая реализация нового вида предпринимательской деятельности вузов позволила выявить ряд системных проблем, подлежащих решению как на федеральном и региональном уровнях, так и самими вузами.

Основная среди них проблема — это отсутствие надлежащего финансирования процесса производства наукоёмкой продукции.

Наиболее адекватным источником финансирования для малых инновационных фирм является венчурное инвестирование.

Коротко процесс венчурного финансирования можно описать следующим образом: венчурный фонд выкупает часть акционерного капитала компании — объекта инвестирования. При этом юридическое лицо — управляющая компания фонда — пользуется финансовыми ресурсами одного или нескольких инвесторов. Используя эти средства, компания развивается, увеличивая при этом свою стоимость. Через некоторое время управляющая компания осуществляет обратный

процесс обмена приобретённых ею акций или долей в уставном фонде на денежные средства, фиксируя свою прибыль от данной инвестиционной сделки.

Организационно-правовыми формами венчурных фондов в России могут быть:

– коммандитное товарищество;

– закрытый паевой инвестиционный фонд.

Каждая из этих форм имеет свои недостатки.

Коммандитное товарищество является юридическим лицом и подвержено двойному налогообложению наряду с другими юридическими лицами (ОАО, ЗАО, ООО).

Паевой инвестиционный фонд является очень зарегламентированной структурой, в управлении которой участвуют четыре организации.

Представляется более целесообразным существование венчурного фонда в форме инвестиционного товарищества.

Правовое регулирование договора об инвестиционном товариществе позволяет ему занять своего рода промежуточное положение между товариществом на вере и договором о совместной деятельности, обеспечив сохранение их в неизменном виде и возможность дальнейшего применения для всех тех целей, для которых они пригодны и могут быть использованы.

Основным принципом правового регулирования договора об инвестиционном товариществе является внедрение в его конструкцию максимального количества диспозитивных возможностей для участников устанавливать удобные им для данного конкретного инновационного или иного бизнес-проекта или случая правила. Предметом правового регулирования являются отношения, возникающие в связи с заключением, исполнением и прекращением специальной разновидности договора простого товарищества — инвестиционного товарищества, на основе которого могут объединяться средства нескольких инвесторов и (или) организационно-управленческие и предпринимательские усилия для реализации бизнес-проектов, прежде всего в сфере инновационной экономики.

В договорах инвестиционного товарищества могут принять участие:

– физические лица, выступающие в качестве индивидуальных предпринимателей, юридические лица, независимо от организационно-правовой формы и формы собственности, осуществляющие совместную инвестиционную деятельность с использованием договора об инвестиционном товариществе в соответствии с законом;

– иностранные юридические лица в соответствии с применимым законодательством;

– органы государственной власти, уполномоченные на осуществление государственного регулирования в установленной сфере деятельности.

Устанавливаются следующие ключевые особенности правового регулирования договора об инвестиционном товариществе:

– наличие в договоре об инвестиционном товариществе двух категорий участников — управляющих товарищей и обычных товарищей с различным объёмом прав и обязанностей, а также с различным объёмом ответственности;

– невозможность внесения обычными (неуправляющими) товарищами вклада в общее дело не в денежной форме;

– отсутствие ограничений на участие как управляющих товарищей, так и обычных товарищей в нескольких договорах инвестиционного товарищества;

– ограничения по участию в договоре инвестиционного товарищества для физических лиц, не являющихся индивидуальными предпринимателями;

– отсутствие ограничений по участию в договоре инвестиционного товарищества коммерческих юридических лиц, в том числе иностранных юридических лиц и иностранных организа-

ций, не являющихся юридическими лицами по иностранному праву (с учётом требований применимого законодательства), а также некоммерческих организаций (с учётом их правоспособности);

– возможность для управляющего товарища являться одновременно и обычным товарищем, и наоборот; полная солидарная ответственность всех участников договора по общим внедоговорным обязательствам, а также по договорным обязательствам, не связанным с осуществлением предпринимательской деятельности;

– ограниченный объём ответственности обычных (неуправляющих) товарищей по общим договорным обязательствам, связанным с осуществлением предпринимательской деятельности (перед кредиторами, осуществляющими предпринимательскую деятельность), в пределах стоимости их вкладов в общее дело и пропорционально им;

– возможность (по условиям договора об инвестиционном товариществе) создания товарищами инвестиционного комитета для целей коллективного участия в ведении общих дел;

– невозможность для товарища требовать расторжения договора инвестиционного товарищества, заключённого с указанием срока или с указанием цели, в качестве отменительного условия в отношениях между собой и остальными товарищами по уважительной причине;

– введение особенностей в порядке выдела доли товарища по требованию его кредитора (введение возможности перевода на кредитора прав и обязанностей должника по договору инвестиционного товарищества);

– введение механизмов коллективного ведения общих дел управляющими товарищами (в случае, если управляющих товарищей в договоре несколько);

– возможность определения в условиях договора об инвестиционном товариществе различного объёма прав и обязанностей управляющих товарищей и обычных товарищей, различного порядка и условий приёма новых товарищей, выхода старых, различных условий распределения прибыли и голосов при принятии решений в отношении осуществления совместной инвестиционной деятельности, а также иных условий, необходимых в связи с различными условиями реализации инвестиционных бизнес-проектов в инновационной сфере;

– введение обязательного нотариального удостоверения договора инвестиционного товарищества и всех приложений к нему, включая политику ведения общих дел (инвестиционную декларацию), соглашений участников договора о полной и (или) частичной уступке своих прав по договору инвестиционного товарищества, а также доверенности на ведение общих дел;

– введение возможности полной или частичной уступки прав по договору инвестиционного товарищества, в том числе путём отчуждения права на получение прибыли по договору инвестиционного товарищества.

**Заключение.** Производство наукоёмкой продукции является новым видом предпринимательской деятельности вузов, позволяющим осуществлять коммерциализацию объектов интеллектуальной собственности. Единственным адекватным источником финансирования этой деятельности являются венчурные фонды, создание которых следует осуществлять в форме инвестиционного товарищества. Это позволит создать дополнительный источник внебюджетных средств для вузов и получить мультипликативный эффект в целом ряде отраслей экономики.

**Библиографический список**

1. Романов, Ю. Р. Особенности управления производством наукоёмкой машиностроительной продукции / Ю. Р. Романов // Креативная экономика. — 2002. — № 1 (25). — С. 74—79.

2. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности: федер. закон Рос. Федерации от 2 августа 2009 г. № 217-ФЗ: принят Гос. Думой Федер.

Собр. Рос. Федерации 24 июля 2009 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 27 июля 2009 г. // Рос. газ. — 2009. — 04 авг.

3. Бизнес при вузах, или Вынужденное предпринимательство. — Режим доступа: http://www.c-mp.ru/doc.aspx?docid=436 (дата обращения: 13.08.2011).

Материал поступил в редакцию 23.12.2011.

**References**

1. Romanov, Yu. R. Osobennosti upravleniya proizvodstvom naukoyomkoj mashinostroitel`noj produkcii / Yu. R. Romanov // Kreativnaya e`konomika. — 2002. — # 1 (25). — S. 74—79. — In Russian.

2. O vnesenii izmenenij v otdel`ny`e zakonodatel`ny`e akty` Rossijskoj Federacii po voprosam sozdaniya byudzhetny`mi nauchny`mi i obrazovatel`ny`mi uchrezhdeniyami xozyajstvenny`x obshhestv v celyax prakticheskogo primeneniya (vnedreniya) rezul`tatov intellektual`noj deyatel`nosti: feder. zakon Ros. Federacii ot 2 avgusta 2009 g. # 217-FZ: prinyat Gos. Dumoj Feder. Sobr. Ros. Federacii 24 iyulya 2009 g.: odobr. Sovetom Federacii Feder. Sobr. Ros. Federacii 27 iyulya 2009 g. // Ros. gaz. — 2009. — 04 avg. — In Russian.

3. Biznes pri vuzax, ili Vy`nuzhdennoe predprinimatel`stvo. — Rezhim dostupa: http://www.c-mp.ru/doc.aspx?docid=436 (data obrashheniya: 13.08.2011). — In Russian.

## SCIENCE-INTENSIVE PRODUCTION AS UNIVERSITY BUSINESS ACTIVITY INDEX

**S. N. Tsvetkova**
(South-Russian State University of Economics and Service),
**L. R. Klinovenko, Y. V. Kalachev, M. G. Magomedov**
(Don State Technical University)

*The essence of science-intensive products and specificity of its manufacture in higher educational institutions is considered. The problems and prospects of the intellectual property commercialization under the current conditions of higher educational institutions functioning are stated.*
***Keywords:*** *science-intensive products, intellectual property, higher educational institutions, commercialization.*

# КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 631.31:62-338

## Динамика механизмов сельскохозяйственных машин при значительном разбросе параметров в процессе производства

**В. П. Жаров**
(Донской государственный технический университет)

*Предложен метод расчёта динамики шарнирно-рычажных механизмов сельскохозяйственных машин, силы инерции которых, ввиду значительного разброса некоторых параметров в процессе производства, носят случайный характер.*
***Ключевые слова:*** *динамика, силы инерции, случайные процессы.*

**Введение.** Механизмы сельскохозяйственных машин в процессе производства характеризуются случайным разбросом параметров, и для расчёта их динамики силы инерции звеньев необходимо представить в виде случайных функций и разработать с учётом этого общий метод расчёта.

**Динамика механизмов сельскохозяйственных машин.** Сельскохозяйственные машины выпускаются обычно серийно или массово. При этом разброс параметров машин носит случайный характер. При значительном разбросе параметров механизмов случайные функции его неуравновешенности можно описывать системой (1), где амплитуды и фазы следует считать случайными величинами. Главный вектор и главный момент сил инерции каждого механизма, при незначительном разбросе его масс в процессе производства и эксплуатации, можно представить в виде периодических функций, которые в проекциях и относительно осей координат $x$, $y$, $z$ будут иметь вид:

$$\begin{cases} P_{ux} = \sum\limits_{\nu=1}^{k} P_{u_{x\nu}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi_{x\nu}\right) = \sum\limits_{\mu}^{n}\sum\limits_{\nu}^{k} P_{u_{x\mu\nu}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi_{\mu\nu x}\right), \\ P_{uy} = \sum\limits_{\nu=1}^{k} P_{u_{y\nu}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi_{y\nu}\right) = \sum\limits_{\mu}^{n}\sum\limits_{\nu}^{k} P_{u_{y\mu\nu}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi_{\mu\nu y}\right), \\ P_{uz} = \sum\limits_{\nu=1}^{k} P_{u_{z\nu}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi_{z\nu}\right) = \sum\limits_{\mu}^{n}\sum\limits_{\nu}^{k} P_{u_{z\mu\nu}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi_{\mu\nu z}\right), \\ M_{ux} = \sum\limits_{\nu=1}^{k} M_{u_{x\nu}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi'_{x\nu}\right) = \sum\limits_{\mu}^{n}\sum\limits_{\nu}^{k} M_{u_{x\mu\nu}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi'_{\mu\nu x}\right), \\ M_{uy} = \sum\limits_{\nu=1}^{k} M_{u_{y\nu}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi'_{y\nu}\right) = \sum\limits_{\mu}^{n}\sum\limits_{\nu}^{k} M_{u_{y\mu\nu}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi'_{\mu\nu y}\right), \\ M_{uz} = \sum\limits_{\nu=1}^{k} M_{u_{z\nu}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi'_{z\nu}\right) = \sum\limits_{\mu}^{n}\sum\limits_{\nu}^{k} M_{u_{z\mu\nu}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi'_{\mu\nu z}\right), \end{cases} \tag{1}$$

где $Pu_{x\nu}$, $Pu_{y\nu}$, $Pu_{z\nu}$, $Mu_{x\nu}$, $Mu_{y\nu}$, $Mu_{z\nu}$ — амплитудные значения гармоник главного вектора и главного момента сил инерции механизма; $\varphi_{x\nu}$, $\varphi_{y\nu}$, $\varphi_{z\nu}$, $\varphi'_{x\nu}$, $\varphi'_{y\nu}$, $\varphi'_{z\nu}$ — фазовые углы гармонических составляющих главного вектора и главного момента сил инерции механизма; ω — угловая скорость вращения ведущего вала механизма; ν — номер гармоники; $k$ — число гармоник; $Pu_{x\mu\nu}$, $Pu_{y\mu\nu}$, $Pu_{z\mu\nu}$, $Mu_{x\mu\nu}$, $Mu_{y\mu\nu}$, $Mu_{z\mu\nu}$ — амплитудные значения гармоник главного вектора и главного момента сил инерции μ-звена; $\varphi_{\mu\nu x}$, $\varphi_{\mu\nu y}$, $\varphi_{\mu\nu z}$, $\varphi'_{\mu\nu x}$, $\varphi'_{\mu\nu y}$, $\varphi'_{\mu\nu z}$ — фазовые углы гармонических составляющих главного вектора и главного момента сил инерции μ-звена.

Так как структура всех уравнений системы (1) одинакова, рассмотрим сначала одну гармонику, а затем результат обобщим на их сумму. Обычно «гармоническое» колебание со случайной амплитудой $A_{\nu_{сл}}$ и случайной фазой $\varphi_{\nu_{сл}}$ называют квазидетерминированным случайным процессом, который имеет вид:

$$f(t) = A_{\nu_{сл}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi_{\nu_{сл}}\right), \tag{2}$$

где угловая скорость $\omega_\nu$ считается постоянной величиной; $A_{\nu_{сл}}$, $\varphi_{\nu_{сл}}$ — случайными величинами, не зависящими от времени.

По общим правилам теории случайных функций [1, 2] определим корреляционную функцию квазидетерминированного колебания, описываемого уравнением (2):

$$R(t,\tau) = M\left\{A^2_{\nu_{сл}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi_{\nu_{сл}}\right) \cdot \cos\left(\omega t + \omega\tau + \varphi_{\nu_{сл}}\right)\right\}, \tag{3}$$

где $M$ — знак математического ожидания; $\tau$ — время сдвига.

После ряда преобразований уравнение (3) примет вид:

$$R(t,\tau) = \frac{1}{2} M\left\{A^2_{\nu_{сл}} \cos\omega_\nu\tau\right\} + \frac{1}{2} M\left\{A^2_{\nu_{сл}} \cos\left(2\omega_\nu t + 2\varphi_{\nu_{сл}} + \omega\tau\right)\right\}, \tag{4}$$

Выражение (4) определяет корреляционную функцию квазидетерминированного колебания в самом общем случае. Определим её вид для стационарного процесса. Как известно, для стационарности в широком смысле необходимо равенство нулю средних значений (математических ожиданий) случайных величин $A_{\nu_{сл}}$ и $\varphi_{\nu_{сл}}$, а также зависимость корреляционной функции только от одного параметра $\tau$. Для стационарного процесса математического ожидания $M\left\{A_{\nu_{сл}}\right\} = D_\nu = \sigma^2_\nu$, где $D_\nu$ — дисперсия, $\sigma_\nu$ — среднеквадратичное отклонение.

При независимых $A_{\nu_{сл}}$ и $\varphi_{\nu_{сл}}$ математическое ожидание второго слагаемого выражения (4) равно нулю, так как математическое ожидание косинусоиды за период даже со случайной начальной фазой равно нулю.

Таким образом, корреляционная функция квазидетерминированного стационарного колебания имеет вид:

$$R(\tau) = \frac{\sigma^2_\nu}{2} \cos\omega_\nu\tau, \tag{5}$$

В соответствии с общими условиями эргодичности, процесс (2) будет эргодичным, если амплитуда постоянная. Только в этом случае (имеется в виду равномерное распределение фазы) вероятностные характеристики процесса, полученные усреднением по множеству реализаций и по времени, будут совпадать.

Выполним преобразование Фурье корреляционной функции (5), используя дельта-функцию:

$$S(\omega) = \pi\sigma^2_\nu \left\{\delta(\omega + \omega_\nu) + \delta(\omega - \omega_\nu)\right\}, \tag{6}$$

Спектральная плотность $S(\omega)$ в этом случае представляет две дискретные линии с бесконечной интенсивностью на частотах $\pm\omega_\nu$.

Учитывая, что главный вектор и главный момент неуравновешенных сил инерции представляют суммы функций вида (1), обобщим полученные результаты:

$$\sum_{\nu=1}^{k} f_\nu(t) = \sum_{\nu=1}^{k} A_{\nu_{сл}} \cos\left(\omega_\nu t + \varphi_{\nu_{сл}}\right). \tag{7}$$

Корреляционная функция суммарного стационарного процесса (7) будет иметь вид:

$$R(\tau) = \sum \frac{\sigma_v^2}{2} \cos \omega_v \tau. \quad (8)$$

При этом все слагаемые, входящие в выражение (7), должны удовлетворять перечисленным выше условиям стационарности.

Спектральная плотность процессов (7), как преобразование Фурье корреляционной функции (8), с использованием дельта-функций запишется:

$$S(\omega) = \sum_{v=1}^{k} \pi \sigma_v \left\{ \delta(\omega + \omega_v) + \delta(\omega - \omega_v) \right\}. \quad (9)$$

Используя дельта-функции формально, можно записать корреляционные функции и спектральные плотности для периодических процессов системы (1). Для этого в выражениях (8) и (9) следует положить $\sigma_v = A_v$, где $A_v$ — амплитудное значение силы или момента.

**Заключение.** Таким образом, все виды возмущений могут быть представлены их спектральными плотностями, что в случае необходимости позволит применять единые методы расчёта динамики механизмов сельскохозяйственных машин.

**Библиографический список**

1. Свешников, А. А. Прикладные методы теории случайных функций: учеб. пособие / А. А. Свешников. — Москва: Лань, 2011. — 464 с.

2. Химмельблау, Д. Анализ процессов аналитическими методами / Д. Химмельблау. — Москва: Мир, 1973. — 960 с.

Материал поступил в редакцию 23.12.2011.

**References**

1. Sveshnikov, A. A. Prikladny`e metody` teorii sluchajny`x funkcij: ucheb. posobie / A. A. Sveshnikov. — Moskva: Lan`, 2011. — 464 s. — In Russian.

2. Ximmel`blau, D. Analiz processov analiticheskimi metodami / D. Ximmel`blau. — Moskva: Mir, 1973. — 960 s. — In Russian.

## DYNAMICS OF AGRICULTURAL MACHINERY MECHANISMS WITH SIGNIFICANT PARAMETER SPREAD DURING PRODUCTION

**V. P. Zharov**
(Don State Technical University)

*The technique for calculating the dynamics of link-lever mechanisms of the agricultural machinery, whose inertial forces due to significant parameter spread during production occur at random, is offered.*

***Keywords:*** *dynamics, inertial forces, random processes.*

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Азаров Анатолий Дмитриевич,** кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий отделом сложных информационно-измерительных систем Научно-исследовательского института механики и прикладной математики им. И. И. Воровича Южного федерального университета.
polyani49@mail.ru

**Аствацатуров Артём Ервандович,** доктор технических наук, доктор философских наук, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и охрана окружающей среды» Донского государственного технического университета.
astrov@pochta.ru

**Басина Наталья Ивановна,** доктор философских наук, профессор, заведующая кафедрой «Социальная работа» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
basinatalya.1@mail.ru

**Богуславский Игорь Владимирович,** доктор технических наук, профессор, проректор Донского государственного технического университета по научно-исследовательской работе и инновационной деятельности.
biv63@mail.ru

**Борисова Людмила Викторовна,** доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экономика и менеджмент в машиностроении» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
borisovalv09@mail.ru

**Бровер Галина Ивановна,** доктор технических наук, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета.
brover@mail.ru

**Бурлакова Виктория Эдуардовна,** доктор технических наук, профессор кафедры «Химия» Донского государственного технического университета.
vburlakova@donstu.ru

**Власенко Илья Борисович,** инженер-конструктор 2-й категории Ростовского-на-Дону научно-исследовательского института радиосвязи.
vlasenkoib@bk.ru

**Гапонов Владимир Лаврентьевич,** доктор технических наук, профессор, директор института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
gaponov@iem.donstu.ru

**Грошев Леонид Матвеевич,** доктор технических наук, профессор кафедры «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета.

**Гуринов Андрей Сергеевич,** аспирант кафедры «Производственная безопасность» Донского государственного технического университета.
andreigur@rambler.ru

**Дащинский Дмитрий Борисович,** соискатель учёной степени кандидата экономических наук по кафедре «Организация производства и маркетинг» Донского государственного технического университета.

**Димитров Валерий Петрович,** доктор технических наук, профессор, декан факультета «Приборостроение и техническое регулирование», заведующий кафедрой «Управление качеством» Донского государственного технического университета.
kaf-qm@donstu.ru

**Домбровский Юрий Маркович,** доктор технических наук, профессор кафедры «Физическое и прикладное материаловедение» Донского государственного технического университета.
yurimd@mail.ru

**Дружба Ольга Владимировна,** доктор исторических наук, профессор, заведующая кафедрой «Связи с общественностью» Донского государственного технического университета.
druzgba@mail.ru

**Жаров Виктор Павлович,** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая механика» Донского государственного технического университета.
spu-34.30@donstu.ru

**Жмайлов Борис Борисович,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление качеством» Донского государственного технического университета.
bbj2001@mail.ru

**Журавлёв Лев Александрович,** доктор технических наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Донского государственного технического университета.

**Зайцева Марина Михайловна,** кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей и оборудования» Ростовского государственного строительного университета.
marincha1@rambler.ru

**Заковоротный Вилор Лаврентьевич,** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.
vzakovorotny@donstu.ru

**Калачёв Юрий Васильевич,** доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика» Донского государственного технического университета.

**Касьянов Валерий Евгеньевич,** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей и оборудования» Ростовского государственного строительного университета.
tesao@rgsu.ru

**Клиновенко Лариса Рифовна,** доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой «Экономическая теория» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.

**Колесниченко Алексей Олегович,** начальник транспортного цеха № 78 ООО «Производственная компания „Новочеркасский электровозостроительный завод"».

**Коробцов Александр Сергеевич,** доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства» Донского государственного технического университета.
dstu.koras@yandex.ru

**Котесов Анатолий Анатольевич,** аспирант кафедры «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей и оборудования» Ростовского государственного строительного университета.
voodoo-doll@yandex.ru

**Котесова Анастасия Александровна,** ассистент кафедры «Техническая эксплуатация и сервис автомобилей и оборудования» Ростовского государственного строительного университета.
stasi777.86@mail.ru

**Кохановский Вадим Алексеевич,** доктор технических наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Донского государственного технического университета.
coxanowskij@yandex.ru

**Красноступ Станислав Маркович,** кандидат технических наук, профессор кафедры «Технический сервис машин» Донского государственного технического университета.
kr7273st@yandex.ru

**Кульбикаян Рубен Вагинакович,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство» Ростовского государственного университета путей сообщения.

**Лесняк Ольга Николаевна,** старший преподаватель кафедры «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета.
olga1501@inbox.ru

**Лысак Ирина Витальевна,** доктор философских наук, доцент, профессор кафедры «Философия» Таганрогского технологического института Южного федерального университета.
140800@rambler.ru

**Лысакова Ирина Павловна,** доктор филологических наук, профессор, заведующая кафедрой межкультурной коммуникации Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена.
lip1010@mail.ru

**Магомедов Магомед Гасанханович,** доктор социологических наук, доцент, профессор кафедры «Философия» Донского государственного технического университета.
srasto@mail.ru

**Могилевская Надежда Сергеевна,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Донского государственного технического университета.
broshka@nm.ru

**Паршин Дмитрий Яковлевич,** доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация и электропривод станочных систем» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
d.parshin@mail.ru

**Полушкин Олег Алексеевич,** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теория механизмов и машин» Донского государственного технического университета.
grunt@mail.ru

**Полушкин Олег Олегович,** кандидат технических наук, докторант кафедры «Теория механизмов и машин» Донского государственного технического университета.
o.polushkin@gmail.com

**Радин Виктор Викторович,** доктор технических наук, профессор кафедры «Технический сервис машин» Донского государственного технического университета.
ya.radin2011@yandex.ru

**Резванов Сергей Владимирович,** доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой «Культурология, этика и право» Ростовского государственного строительного университета.

**Рогозин Дмитрий Викторович,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и автоматизация сварочного производства» Донского государственного технического университета.
dmrogozin@yandex.ru

**Рубанов Владлен Васильевич,** доктор технических наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» Донского государственного технического университета.

**Рыжкин Анатолий Андреевич,** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инструментальное производство» Донского государственного технического университета.
a.ryzhkin_39@mail.ru

**Серченко Ольга Николаевна,** ассистент кафедры «Математика» Донского государственного технического университета.
oserchenko@yandex.ru

**Симонян Татьяна Владимировна,** доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры «Организация производства и маркетинг» Донского государственного технического университета.
cimonyan.t@gmail.com

**Скринников Евгений Валерьевич,** старший преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт и организация дорожного движения» Южно-Российского государственного технического университета.
skrinnikov08@rambler.ru

**Степанов Макар Степанович,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология технического регулирования» Донского государственного технического университета.
stepanovms@yandex.ru

**Столяренко Денис Владимирович,** аспирант кафедры истории и философии Новочеркасской государственной мелиоративной академии.
9045092399@mail.ru

**Столяренко Людмила Дмитриевна,** доктор философских наук, профессор кафедры «Управление персоналом и социология» Ростовского государственного экономического университета.
juta99@mail.ru

**Тазаян Араван Бабкенович,** доктор философских наук, доцент, профессор кафедры «Философия» Донского государственного технического университета.
tazayan@spark-mail.ru

**Тахтамышев Владимир Григорьевич,** доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой «Философия и история Отечества» Ростовского государственного университета путей сообщения.
tahtamishev2012@yandex.ru

**Фам Динь Тунг,** кандидат технических наук, докторант кафедры «Автоматизация производственных процессов» Донского государственного технического университета.
phamdinhtung@mail.ru

**Федосеев Владимир Борисович,** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Математика» Донского государственного технического университета.
fedoseevvb@gmail.com

**Флек Михаил Бенсионович,** доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора ОАО «Роствертол».
rostvertol@aaanet.ru

**Хозяев Игорь Алексеевич,** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств» Донского государственного технического университета.

**Хромов Сергей Сергеевич,** доктор филологических наук, профессор, заведующий кафедрой лингвистики и межкультурной коммуникации Московского государственного университета экономики, статистики и информатики.
shromov@mesi.ru

**Цветкова Светлана Николаевна,** доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика и менеджмент» Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса.
tsvetcova_six@mail.ru

**Чукарин Александр Николаевич,** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологическое оборудование» Донского государственного технического университета.

**Шамшура Сергей Александрович,** кандидат технических наук, доцент кафедры «Вертолётостроение» института управления и инноваций авиационной промышленности Донского государственного технического университета.
up_del@rgups.ru

**Шевчук Денис Геннадьевич,** аспирант кафедры «Автоматизация и электропривод станочных систем» института энергетики и машиностроения Донского государственного технического университета.
hebeh@yandex.ru

**Шульга Геннадий Иванович,** доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт и организация дорожного движения» Южно-Российского государственного технического университета.
g.shulga41@mail.ru

**Шульга Татьяна Геннадиевна,** кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Ростовского государственного университета путей сообщения.
t.shulga@mail.ru

**INDEX**

**Astvatsaturov, Artem E.,** PhD in Science, PhD in Philosophy, professor of the Life and Environment Protection Sciences Department, Don State Technical University.
astrov@pochta.ru

**Azarov, Anatoly D.,** Candidate of Science in Physics and Maths, associate professor, head of the Complex Information and Measuring Systems Department, Research Institute of Mechanics and Applied Mathematics, Southern Federal University.
polyani49@mail.ru

**Basina, Natalya I.,** PhD in Philosophy, professor, head of the Social Work Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
basinatalya.1@mail.ru

**Boguslavskiy, Igor V.,** PhD in Science, professor, Vice-president for Research and Innovations, Don State Technical University.
biv63@mail.ru

**Borisova, Lyudmila V.,** PhD in Science, professor, head of the Engineering Economics and Management Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
borisovalv09@mail.ru

**Brover, Galina I.,** PhD in Science, professor of the Material Physics and Applied Hylology Department, Don State Technical University.
brover@mail.ru

**Burlakova, Victoria E.,** PhD in Science, professor of the Chemistry Department, Don State Technical University.
vburlakova@donstu.ru

**Chukarin, Alexander N.,** PhD in Science, professor, head of the Process Equipment Department, Don State Technical University.

**Dashchinskiy, Dmitry B.,** EdD Candidate in Economics of the Industrial Engineering and Marketing Department, Don State Technical University.

**Dimitrov, Valery P.,** PhD in Science, professor, dean of the Tools and Instrument Engineering Faculty, head of the Quality Management Department, Don State Technical University.
kaf-qm@donstu.ru

**Dombrovskiy, Yury M.,** PhD in Science, professor of the Material Physics and Applied Hylology Department, Don State Technical University.
yurimd@mail.ru

**Druzhba, Olga V.,** PhD in History, professor, head of the Public Relations Department, Don State Technical University.
druzgba@mail.ru

**Fedoseyev, Vladimir B.,** PhD in Science, professor, head of the Mathematics Department, Don State Technical University.
fedoseevvb@gmail.com

**Flek, Mikhail B.,** PhD in Science, professor, Associate General Director of JSC 'Rostvertol'.
rostvertol@aaanet.ru

**Gaponov, Vladimir L.,** PhD in Science, professor, Director of Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
gaponov@iem.donstu.ru

**Groshev, Leonid M.,** PhD in Science, professor of the Strength of Materials Department, Don State Technical University.

**Gurinov, Andrey S.,** postgraduate student of the Industrial Safety Department, Don State Technical University.
andreigur@rambler.ru

**Kalachev, Yury V.,** PhD in Economics, professor of the Economics Department, Don State Technical University.

**Kasyanov, Valery E.,** PhD in Science, professor, head of the Technical Operation and Servicing of Motorcars and Facilities Department, Rostov State Construction University.
tesao@rgsu.ru

**Khozyayev, Igor A.,** PhD in Science, professor, head of the Food Production Machines and Mechanisms Department, Don State Technical University.

**Khromov, Sergey S.,** PhD in Linguistics, professor, head of the Linguistics and Intercultural Communication Department, Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics.
shromov@mesi.ru

**Klinovenko, Larisa R.,** PhD in Economics, professor, head of the Economic Theory Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.

**Kokhanovskiy, Vadim A.,** PhD in Science, professor of the Structural Materials Technology Department, Don State Technical University.
coxanowskij@yandex.ru

**Kolesnichenko, Alexey O.,** head of Vehicle Transport Department № 78, LLC 'Production Company "Novocherkassk Electric Locomotive Plant"'.

**Korobtsov, Alexander S.,** PhD in Science, professor of the Welding Fabrication Machines and Automation Department, Don State Technical University.
dstu.koras@yandex.ru

**Kotesov, Anatoly A.,** postgraduate student of the Technical Operation and Servicing of Motorcars and Facilities Department, Rostov State Construction University.
voodoo-doll@yandex.ru

**Kotesova, Anastasia A.,** teaching assistant of the Technical Operation and Servicing of Motorcars and Facilities Department, Rostov State Construction University.
stasi777.86@mail.ru

**Krasnostup, Stanislav M.,** Candidate of Science in Engineering, professor of the Technical Service of Machines Department, Don State Technical University.
kr7273st@yandex.ru

**Kulbikayan, Ruben V.,** Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Rail and Track Facilities Department, Rostov State Transport University.

**Lesnyak, Olga N.,** assistant professor of the Strength of Materials Department, Don State Technical University.
olga1501@inbox.ru

**Lysak, Irina V.,** PhD in Philosophy, associate professor, professor of the Philosophy Department, Taganrog Technological Institute, Southern Federal University.
140800@rambler.ru

**Lysakova, Irina P.,** PhD in Linguistics, professor, head of the Intercultural Communication Department, Herzen State Pedagogical University of Russia.
lip1010@yandex.ru

**Magomedov, Magomed G.,** PhD in Sociology, associate professor, professor of the Philosophy Department, Don State Technical University.
srasto@mail.ru

**Mogilevskaya, Nadezhda S.,** Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Computer Software and Automated Systems Department, Don State Technical University.
broshka@nm.ru

**Parshin, Dmitry Y.,** PhD in Science, professor of the Automation and Electrical Drive of Machine Systems Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
d.parshin@mail.ru

**Pham Dinh Tung,** Candidate of Science in Engineering, postdoctoral student of the Production Automation Department, Don State Technical University.
phamdinhtung@mail.ru

**Polushkin, Oleg A.,** PhD in Science, professor, head of the Theory of Mechanisms and Machines Department, Don State Technical University.
grunt@mail.ru

**Polushkin, Oleg O.,** Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Theory of Mechanisms and Machines Department, Don State Technical University.
o.polushkin@gmail.com

**Radin, Victor V.,** PhD in Science, professor of the Technical Service of Machines Department, Don State Technical University.
ya.radin2011@yandex.ru

**Rezvanov, Sergey V.,** PhD in Philosophy, professor, head of the Cultural Studies, Ethics and Law Department, Rostov State Construction University.

**Rogozin, Dmitry V.,** Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Welding Fabrication Machines and Automation Department, Don State Technical University.
dmrogozin@yandex.ru

**Rubanov, Vladlen V.,** PhD in Science, professor of the Structural Materials Technology Department, Don State Technical University.

**Ryzhkin, Anatoly A.,** PhD in Science, professor, head of the Tools Production Department, Don State Technical University.
a.ryzhkin_39@mail.ru

**Serchenko, Olga N.,** teaching assistant of the Mathematics Department, Don State Technical University.
oserchenko@yandex.ru

**Shamshura, Sergey A.,** Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Helicopter Engineering Department, Management and Innovations Institute of Aircraft Industry, Don State Technical University.
up_del@rgups.ru

**Shevchuk, Denis G.,** postgraduate student of the Automation and Electrical Drive of Machine Systems Department, Power Engineering and Machinery Institute, Don State Technical University.
hebeh@yandex.ru

**Shulga, Gennady I.,** PhD in Science, professor of the Automobile Transport and Traffic Management Department, South-Russian State Technical University.
g.shulga41@mail.ru

**Shulga, Tatyana G.,** Candidate of Science in Engineering, assistant professor of the Life Protection Sciences Department, Rostov State Transport University.
t.shulga@mail.ru

**Simonyan, Tatyana V.,** PhD in Economics, associate professor, professor of the Industrial Engineering and Marketing Department, Don State Technical University.
cimonyan.t@gmail.com

**Skrinnikov, Evgeny V.,** assistant professor of the Automobile Transport and Traffic Management Department, South-Russian State Technical University.
skrinnikov08@rambler.ru

**Stepanov, Makar S.,** Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Technical Regulation Technology Department, Don State Technical University.
stepanovms@yandex.ru

**Stolyarenko, Denis V.,** postgraduate student of the History and Philosophy Department, Novocherkassk State Reclamation Academy.
9045092399@mail.ru

**Stolyarenko, Lyudmila D.,** PhD in Philosophy, professor of the Personnel Management and Sociology Department, Rostov State University of Economics.
juta99@mail.ru

**Takhtamyshev, Vladimir G.,** PhD in Philosophy, professor, head of the Philosophy and National History Department, Rostov State Transport University.
tahtamishev2012@yandex.ru

**Tazayan, Aravan B.,** PhD in Philosophy, associate professor, professor of the Philosophy Department, Don State Technical University.
tazayan@spark-mail.ru

**Tsvetkova, Svetlana N.,** PhD in Economics, professor of the Economics and Management Department, South-Russian State University of Economics and Service.
tsvetcova_six@mail.ru

**Vlasenko, Ilya B.,** category 2 design engineer, Rostov Scientific Research Institute for Radiocommunication.
vlasenkoib@bk.ru

**Zakovorotniy, Vilor L.,** PhD in Science, professor, head of the Production Automation Department, Don State Technical University.
vzakovorotny@donstu.ru

**Zaytseva, Marina M.,** Candidate of Science in Engineering, assistant professor of the Technical Operation and Servicing of Motorcars and Facilities Department, Rostov State Construction University.
marincha1@rambler.ru

**Zharov, Victor P.,** PhD in Science, professor, head of the Theoretical Mechanics Department, Don State Technical University.
spu-34.30@donstu.ru

**Zhmaylov, Boris B.,** Candidate of Science in Engineering, associate professor of the Quality Management Department, Don State Technical University.
bbj2001@mail.ru

**Zhuravlev, Lev A.,** PhD in Science, professor of the Construction Materials Engineering Department, Don State Technical University.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Электронный и распечатанный варианты статьи можно представить непосредственно в редакцию журнала. Можно зарегистрировать себя на сайте журнала (http://science.donstu.ru) как автора (если ещё не зарегистрированы) и затем зарегистрировать публикацию. Зарегистрированные на сайте журнала авторы получают возможность загружать статьи в базу данных журнала самостоятельно и в дальнейшем отслеживать состояние своих публикаций. Файл с текстом статьи должен иметь формат DOC. Разметка страницы: поля со всех сторон 2 см, ориентация книжная, формат А4. Текст набирается шрифтом Times New Roman, размер (кегль) 14, абзацный отступ 1,25 см, межстрочный интервал 1,5 строки с использованием автоматической расстановки переносов.

2. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице сведения идут в такой последовательности: полное название статьи; инициалы и фамилии авторов, место работы; аннотация (≤ 400 символов, включая пробелы); ключевые слова (≤ 150 символов). Затем идёт текст самой статьи, библиографический список, сведения об авторах (Ф. И. О., научная степень, звание, должность и место работы, e-mail).

3. Дополнительно к статье должны быть представлены следующие материалы на английском языке: полное название статьи, Ф. И. О. авторов, аннотация, ключевые слова, сведения об авторах.

4. Статья должна предусматривать разделы: введение (постановка задачи), основную часть (подзаголовки), выводы или заключение.

5. Объём статьи не должен превышать 16 страниц текста, 5 рисунков или фотографий; обзора — 25 страниц, 10 рисунков; краткого сообщения — 3 страниц, 2 рисунков.

6. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат TIF, PCC, JPG, PCD, MSP, DIB, CDR, CGM, EPS, WMF). Каждый рисунок должен иметь подпись. Рисунки должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation или MathType.

7. Размерность физических величин, используемых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц (СИ). Не следует употреблять сокращённых слов, кроме общепринятых (*т. е.*, *и т. д.*, *и т. п.*). Буквы латинского алфавита, обозначающие физические величины, набирают курсивом; буквы греческого алфавита и готического (немецкого) — в прямом начертании.

8. Библиографический список должен включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг — фамилию и инициалы автора, название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

9. Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

10. Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются, рукописи и электронные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлегией окончательного текста статьи.

11. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Более подробно с правилами оформления следует ознакомиться на сайте журнала «Вестник ДГТУ» по адресу: http://science.donstu.ru.